

# LIBRO TÉCNICO



**REDGATRO**

Red de Investigación e Innovación Tecnológica  
para la Ganadería Bovina Tropical



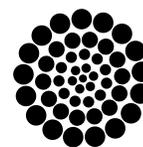
**CONACYT**

**ESTADO DEL ARTE  
SOBRE INVESTIGACIÓN  
E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA  
EN GANADERÍA BOVINA TROPICAL**



**REDGATRO**

Red de Investigación e Innovación Tecnológica  
para la Ganadería Bovina Tropical



**CONACYT**

---

**LIBRO TÉCNICO**  
**ESTADO DEL ARTE SOBRE**  
**INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA**  
**EN GANADERÍA BOVINA TROPICAL**

# DIRECTORIO

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Dirección Adjunta de Desarrollo Científico  
Dirección de Redes Temáticas de Investigación

(3

## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

### INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

#### **Otras instituciones participantes invitadas en la obra (en orden alfabético):**

COLEGIO DE POSGRADUADOS  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
UNIVERSIDAD LA SALLE  
UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Libro elaborado con el patrocinio del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Proyecto del área de Redes Temáticas No. 260528, Convocatoria 2015.

4 )

RED DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL (REDGATRO).

PRIMERA EDICIÓN 2015.

©REDGATRO CONACyT.

ISBN 978-607-37-0556-1

Everardo González Padilla

José Luis Dávalos Flores

*Coordinadores*

Oscar Rodríguez Rivera

*Coordinación Editorial*

Se autoriza la copia, impresión y descarga del presente material con fines divulgativos no comerciales ni de lucro, para el estudio privado, de investigación y docencia, siempre que se reconozcan de forma adecuada los créditos institucionales y autorales como las fuentes y titulares de los derechos.

Tiraje 150 ejemplares.

Impreso en México.

Talleres de impresión D&D Internacional.

Octavio Flores

*Diseño*

## RELACIÓN DE AUTORES (en orden alfabético).

- 1 Adrián Raymundo Quero Carrillo, IA, MC.PhD.  
*Campus Montecillo-Ganadería. Colegio de Postgraduados.*
- 2 Abraham Villegas de Gante, IA.MC.Dr.  
*División de Ingeniería en Agroindustria. Universidad Autónoma Chapingo.*
- 3 Adriana García Ruiz, MVZ.MC.PhD.  
*CENID Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP.*
- 4 Alba Margarita Hernandez Ibáñez, IB.MC.  
*Centro Nacional de Recursos Genéticos. INIFAP.*
- 5 Alejandro Villa Godoy, MVZ.MC.PhD.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 6 Alfonso Ruiz Moreno, MVZ.MC.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Chiapas.*
- 7 Alfredo González Sotelo, IA.MC.PhD.  
*Campo Experimental Tecomán CIRPAC. INIFAP.*
- 8 Ana María Sifuentes Rincón, QFB.MC.Dra.  
*Centro de Biotecnología Genómica. Instituto Politécnico Nacional.*
- 9 Ángel Ríos Utrera, MVZ.MC.PhD.  
*CENID Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP.*
- 10 Anton García Martínez, Dr.  
*Universidad de Córdoba, España.*
- 11 Antonio Cantú Covarrubias, MVZ.MC.PhD.  
*Campo Experimental Aldama. INIFAP.*
- 12 Armando Shimada Miyasaka, MVZ.MC.PhD.  
*Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.*
- 13 Beatriz Arellano Reynoso, MVZ.MC.PhD.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 14 Carlos A. Vega y Murguía, MVZ.MC.PhD.  
*CENID Parasitología Animal. INIFAP.*
- 15 Carlos González Rebeles, MVZ.MC.PhD.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 16 Carlos Guillermo Gutiérrez Aguilar, MVZ.MC.PhD.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 17 Carlos Gustavo Vásquez Peláez, Biol.MC.PhD.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 18 Edmundo E. Rojas Ramírez, MVZ.MC.  
*CENID Parasitología. INIFAP.*
- 19 Eduardo Daniel Bolaños Aguilar, IA.MC.PhD.  
*Campo Experimental Huimanguillo. INIFAP.*
- 20 Eduardo José Cabrera Torres, MVZ.MC.  
*Campo Experimental Chetumal CIRSE. INIFAP.*
- 21 Efrén Díaz Aparicio, MVZ.MC.PhD.  
*CENID Microbiología Animal. INIFAP.*
- 22 Enrique Herrera López, MVC.MC.  
*CENID Microbiología Animal. INIFAP.*
- 23 Erik Giovanni Hernández Badillo, MVZ.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*

6)

- 24 Everardo González Padilla, MVZ.MC.PhD.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 25 Fernando Cervantes Escoto, IA.MC.Dr.  
*CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo.*
- 26 Francisco A. Galindo Maldonado, MVZ.MC.PhD.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 27 Francisco Indalecio Juárez Lagunes, MVZ.MC.PhD.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Veracruzana.*
- 28 Francisco J. Preciado de la Torre, MVZ.  
*CENID Parasitología Animal. INIFAP.*
- 29 Francisco Suárez Güemes, MVZ.MC.PhD.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 30 Gabriela Palomares Reséndiz, MVZ.MC.Dra.  
*CENID Microbiología Animal. INIFAP.*
- 31 Georgel Moctezuma López, IA.MC.  
*INIFAP.*
- 32 Germán David Mendoza Martínez, MVZ.MC.PhD.  
*Unidad Xochimilco, Universidad Autónoma Metropolitana.*
- 33 Guillermo Martínez Velázquez, MVZ.MC.PhD.  
*Campo Experimental Santiago Ixcuintla CIRPAC. INIFAP.*
- 34 Héctor Jiménez Severiano, MVZ.MC.PhD.  
*CENID Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP.*
- 35 Héctor Raymundo Vera Ávila, MVZ.MC.PhD.  
*Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP.*
- 36 Horacio León Velasco, MVZ.MC.Dr.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Chiapas.*
- 37 Horacio Ruiz Hernández, MVZ.MC.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Chiapas.*
- 38 Humberto Ramírez Mendoza, MVZ.MC.Dr.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 39 Itzel Amaro Estrada, LCB.MC.Dra.  
*CENID Parasitología Animal. INIFAP.*
- 40 Jaime Rangel Quintos, LPA.MC.  
*INIFAP.*
- 41 Javier Francisco Enríquez Quiroz, IA.MC.Dr.  
*Campo Experimental La Posta CIRGOC. INIFAP.*
- 42 Jazmín De la Luz Armendáriz, MVZ.MC.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 43 José Antonio Espinosa García, Lic.ME.PhD.  
*CENID Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP.*
- 44 José Fernando De La Torre Sánchez, MVZ.MC.PhD.  
*Centro Nacional de Recursos Genéticos. INIFAP.*
- 45 José Francisco Rivera Benítez, MVZ.MC.Dr.  
*CENID Microbiología Animal. INIFAP.*
- 46 José Francisco Villanueva Avalos, IA.MC.PhD.  
*Campo Experimental Santiago Ixcuintla. INIFAP.*
- 47 José Luis Dávalos Flores, MVZ.MAE.cDr.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*

- 48 José Luis Gutiérrez Hernández, MVZ.MC.  
*CENID Microbiología Animal. INIFAP.*
- 49 José Luis Romano Muñoz, MVZ.MC.PhD. CENID  
*Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP.*
- 50 Juan Carlos Ku Vera, MVZ.MC.PhD.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán.*
- 51 Juan Heberth Hernández-Medrano, MVZ.MC.PhD.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM*
- 52 Justo Alberto Rivera Maldonado, MVZ.MC.Dr.  
*Dirección de Coordinación y Vinculación Campeche. INIFAP.*
- 53 Lourdes Velázquez Fragoso. Lic. MCE.  
*INIFAP.*
- 54 Luis Gómez Núñez, MVZ.MC.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 55 Ma. Enriqueta Mancilla Rendón, LC.MC.Dra.  
*Facultad de Negocios. Universidad La Salle.*
- 56 Ma. Fernanda González Gómez, MVZ.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Chiapas.*
- 57 Marcos Daniel Martínez Peña, QBP.MC.  
*Centro Nacional de Recursos Genéticos. INIFAP.*
- 58 Horacio Álvarez Gallardo, MVZ.MC.  
*Centro Nacional de Recursos Genéticos. INIFAP.*
- 59 Moisés Montaña Bermúdez, MVZ.MC.PhD.  
*CENID Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP.*
- 60 Ramón Ignacio Arteaga Garibay, QBP, MC.Dr.  
*Centro Nacional de Recursos Genéticos. INIFAP.*
- 61 Raymundo Vázquez Gómez, Lic.  
*CENID Microbiología Animal. INIFAP.*
- 62 Rosa Estela Quiroz Castañeda, LCB.MC.PhD.  
*CENID Parasitología Animal. INIFAP.*
- 63 Rubén Santos Echeverría, MVZ.MC.PhD.  
*Dirección de Programas y Proyectos Estratégicos. INIFAP.*
- 64 Sergio D. Rodríguez Camarillo, MVZ.MC.PhD.  
*CENID Parasitología Animal. INIFAP.*
- 65 Sergio Fernando Góngora González, IDR.MC.  
*Campo Experimental Mococho. INIFAP.*
- 66 Sergio Iván Román Ponce, MVZ.MC.PhD.  
*CENID Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP.*
- 67 Tania Gómez Fuentes Galindo, MVZ.MC.  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.*
- 68 Tania Yuriko Lara Bañuelos. Lic.MC.  
*Centro Nacional de Recursos Genéticos. INIFAP.*
- 69 Venancio Cuevas Reyes, IA.MC.Dr.  
*INIFAP.*
- 70 Vicente Eleazar Vega Murillo, MVZ.MC.PhD.  
*Campo Experimental La Posta. INIFAP.*

# ÍNDICE DEL CONTENIDO

8)

PRESENTACIÓN Y RESUMEN DEL DOCUMENTO DEL ESTADO DEL ARTE DE LA RED DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL (REDGATRO)	16
<b>CAPITULO I</b>	<b>38</b>
<b>RECURSOS NATURALES Y USO DE LAS TIERRAS GANADERAS EN EL TRÓPICO</b>	<b>38</b>
I.1 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA INFLUENCIA DE LA GANADERÍA BOVINA SOBRE EL AMBIENTE	38
I.2 LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES COMO OPCIONES AMBIENTALMENTE SOSTENIBLES DE PRODUCCIÓN	39
I.2.1 CONTRIBUCIÓN AMBIENTAL	40
I.2.2 CONTRIBUCIÓN A LA PRODUCTIVIDAD	40
I.2.3 REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	41
I.2.4 BIENESTAR ANIMAL	41
I.3 CONOCIMIENTO DE ESPECIES ARBUSTIVAS Y ARBÓREAS CON POTENCIAL FORRAJERO PARA LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL	41
I.4 OTRAS FORMAS DE PRODUCCIÓN NO CONVENCIONAL QUE BRINDAN OPORTUNIDADES DE INTEGRACIÓN CON UNA PRODUCCIÓN BOVINA TROPICAL AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE	42
I.5 CONSIDERACIONES FINALES	42
I.6 LITERATURA CONSULTADA	43
<b>CAPITULO II</b>	<b>48</b>
<b>FORRAJES Y PASTOREO EN MEXICO TROPICAL</b>	<b>48</b>
II.1 INTRODUCCIÓN	48
II.2 TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA	49
II.3 INVESTIGACIÓN EN FORRAJES TROPICALES	50
II.4 EVALUACIÓN DE GERMOPLASMA	51
II.5 FERTILIZACIÓN	53
II.6 PRODUCCIÓN DE SEMILLA	55

II.7 POTENCIAL PRODUCTIVO	55
II.8 PRADERAS DE PRODUCCIÓN EN PASTOREO	57
II.9 LIBERACIÓN DE VARIEDADES	59
II.10 ASOCIACIÓN GRAMÍNEA-LEGUMINOSA	60
II.11 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA INVESTIGACIÓN EN FORRAJES EN MÉXICO TROPICAL	62
II.12 DESAFÍOS	62
II.13 CONCLUSIONES	62
II.14 LITERATURA CONSULTADA	63
<b>CAPITULO III</b>	<b>69</b>
<b>ALIMENTACIÓN DEL GANADO BOVINO EN LAS REGIONES TROPICALES DE MÉXICO</b>	<b>69</b>
III.1 GRANDES PARADIGMAS	69
III.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS ABORDABLES POR LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA	69
III.2.1 PRODUCCIÓN DE CARNE BOVINA EN PRADERAS TROPICALES EN MÉXICO	70
III.2.2 ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL GANADO BOVINO EN PASTOREO EN EL TRÓPICO	74
III.2.3 EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE LOS FORRAJES TROPICALES EN RUMIANTES	75
III.3 ESTADO DEL ARTE	75
III.3.1 VALOR ENERGÉTICO DE LOS ALIMENTOS Y REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA DEL GANADO	78
III.3.2 ALIMENTACIÓN DE LA VACA DE DOBLE PROPÓSITO EN LAS REGIONES TROPICALES	79
III.3.3 CALIDAD DE LA CANAL BOVINA	83
III.4 CONOCIMIENTO DE FRONTERA	84
III.4.1 POTENCIAL DE LA GENÓMICA NUTRICIONAL EN LA INVESTIGACIÓN EN GANADERÍA	84
III.4.2 ALIMENTACIÓN DE VACAS EN PASTOREO	85

III.5	TECNOLOGÍA MUNDIAL DISPONIBLE Y GRADO DE APLICACIÓN EN MÉXICO	86
III.5.1	SUPLEMENTACIÓN ESTRATÉGICA CON NUTRIENTES CRÍTICOS (ENERGÍA/PROTEÍNA)	86
III.5.2	TIPOS DE SUPLEMENTOS	86
III.5.3	ADITIVOS NUTRICIONALES	88
III.5.3.1	IONÓFOROS	88
III.5.3.2	PROBIÓTICOS	88
III.5.3.3	USO DE ENZIMAS FIBROLÍTICAS EN EL TRÓPICO Y SU POTENCIAL	88
III.5.3.4	β-AGONISTAS (CLORHIDRATO DE ZILPATEROL)	89
III.5.4	TRATAMIENTOS QUÍMICOS Y FÍSICOS DE LOS ESQUILMOS	89
III.5.5	SUPLEMENTOS ACTIVADORES DEL RUMEN	89
III.5.6	NIRS PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE FORRAJES Y SUPLEMENTOS	89
III.6	PROSPECTIVA	90
III.7	LITERATURA CONSULTADA	91
	<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>99</b>
	<b>MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LOS BOVINOS DEL TRÓPICO</b>	<b>99</b>
IV.1	EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN EL USO DE CRUZAMIENTO	99
IV.2	EXPERIENCIAS NACIONALES EN EL USO DE CRUZAMIENTO PARA CRECIMIENTO CORPORAL	100
IV.3	EXPERIENCIAS NACIONALES PARA PRODUCCIÓN DE LECHE	101
IV.4	EVOLUCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS GENÓMICAS APLICADAS A LA CARACTERIZACIÓN DE POBLACIONES DE GANADO BOVINO ( <i>TAURUS/INDICUS</i> )	102
IV.4.1	DIVERSIDAD FENOTÍPICA Y GENÉTICA DEL GANADO BOVINO	104
IV.4.2	DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GENÉTICA DE RAZAS O POBLACIONES DE GANADO BOVINO	105
IV.4.3	NUEVAS PERSPECTIVAS PARA DIRIGIR LOS CRUZAMIENTOS DEL GANADO TROPICAL	106
IV.4.4	OPORTUNIDADES Y LIMITACIONES DEL USO DE HERRAMIENTAS GENÓMICAS	109

IV.5 LA SELECCIÓN EN EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL	109
IV.5.1 INTRODUCCIÓN	109
IV.5.2 SITUACIÓN MUNDIAL	110
IV.5.2.1 SELECCIÓN GENÓMICA	111
IV.5.3 SITUACIÓN NACIONAL	114
IV.5.3.1 ANTECEDENTES	114
IV.5.3.2 EVALUACIONES GENÉTICAS NACIONALES	115
IV.6 AVANCES EN INVESTIGACIÓN GENÓMICA	139
IV.7 CONSERVACION DE RECURSOS GENÉTICOS EN LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL	141
IV.7.1 SITUACIÓN MUNDIAL	141
IV.7.2 SITUACIÓN NACIONAL	142
IV.7.3 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA Y DE LA COLORACIÓN DEL PELAJE	143
IV.7.4 CARACTERIZACIÓN PRODUCTIVA	143
IV.7.5 CARACTERIZACIÓN MOLECULAR	146
IV.8 LITERATURA CONSULTADA	147
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>153</b>
<b>EFICIENCIA REPRODUCTIVA DE LOS BOVINOS EN EL TRÓPICO</b>	<b>153</b>
V.1 PARADIGMAS Y RETOS	153
V.2 CONOCIMIENTO DE FRONTERA	155
V.2.1 FISIOLÓGÍA REPRODUCTIVA EN GENOTIPOS TROPICALES	155
V.2.1.1 DIFERENCIAS EN LA FISIOLÓGÍA DE PROCESOS REPRODUCTIVOS EN HEMBRAS	156
V.2.1.2 DIFERENCIAS EN LA FISIOLÓGÍA DE PROCESOS REPRODUCTIVOS EN MACHOS	158
V.2.2 CIENCIAS ‘ÓMICAS’ EN LA REPRODUCCIÓN ANIMAL	160
V.2.2.1 ESTRATEGIAS “ÓMICAS”, ASPECTOS GENERALES	160

V.2.2.2	ESTRATEGIAS “ÓMICAS” Y EFICIENCIA REPRODUCTIVA EN LA HEMBRA BOVINA	162
V.2.2.3	ESTRATEGIAS “ÓMICAS” Y EFICIENCIA REPRODUCTIVA EN MACHOS	165
V.2.2.4	CONCLUSIONES	170
V.3	TECNOLOGÍAS REPRODUCTIVAS DISPONIBLES	170
V.3.1	TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO REPRODUCTIVO DEL HATO	170
V.3.1.1	SINCRONIZACIÓN DEL ESTRO Y LA OVULACIÓN	171
V.3.1.2	CONTROL DEL AMAMANTAMIENTO	175
V.3.1.3	DIAGNÓSTICO PRECOZ DE GESTACIÓN	176
V.3.1.4	PROGRAMAS DE CÓMPUTO PARA DETERMINAR EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO	178
V.3.2	TECNOLOGÍAS PARA OBTENCIÓN, MANIPULACIÓN, PROCESAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE GAMETOS Y EMBRIONES	178
V.3.2.1	INTRODUCCIÓN	178
V.3.2.2	SEMEN	179
V.3.2.3	EMBRIONES	180
V.3.2.3.1	PRODUCCIÓN <i>IN VITRO</i> DE EMBRIONES	181
V.3.2.4	ÓVULOS	183
V.4	PROSPECTIVA	184
V.4.1	PERSPECTIVAS EN BIOTECNOLOGÍA REPRODUCTIVA	184
V.4.2	TECNOLOGÍAS QUE MEJORAN LA EFICIENCIA BIOLÓGICA	184
V.4.3	TECNOLOGÍAS QUE FACILITAN LA INTRODUCCIÓN Y DISEMINACIÓN DE MEJORAS GENÉTICAS EN LA POBLACIÓN	186
V.5	LITERATURA CONSULTADA	187
	<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>193</b>
	<b>SALUD ANIMAL EN BOVINOS DEL TRÓPICO MEXICANO</b>	<b>193</b>
VI.1	INTRODUCCIÓN	193
VI.2	GRANDES PARADIGMAS	195
VI.2.1	BRUCELOSIS	195

VI.2.2 EL VIRUS RESPIRATORIO SINCITAL BOVINO (vRSB)	195
VI.2.3 EL VIRUS PARAINFLUENZA TIPO 3 (vPI3)	196
VI.2.4 RINOTRAQUEITIS INFECCIOSA BOVINA (IBR)	196
VI.2.5 CLAMIDIASIS	196
VI.2.6 LEPTOSPIROSIS	197
VI.2.7 CAMPILOBACTERIOSIS GENITAL BOVINA	198
VI.2.8 ANAPLASMOSIS	198
VI.3 PROBLEMAS ESPECÍFICOS ABORDABLES POR LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA	199
VI.4 TECNOLOGÍA MUNDIAL DISPONIBLE Y GRADO DE APLICACIÓN EN MÉXICO	202
VI.5 PROSPECTIVA	205
VI.6 TENDENCIAS Y HERRAMIENTAS PARA EL DIAGNÓSTICO E IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS DE IMPORTANCIA PECUARIA	207
VI.6.1 MÉTODOS MICROBIOLÓGICOS TRADICIONALES	207
VI.6.2 MÉTODOS MOLECULARES	209
VI.6.3 SECUENCIACIÓN MASIVA: METAGENÓMICA	224
VI.7 LITERATURA CONSULTADA	225
<b>CAPÍTULO VII</b>	<b>230</b>
<b>ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DE LA GANADERÍA</b>	<b>230</b>
<b>BOVINA TROPICAL</b>	<b>230</b>
VII.1 INTRODUCCIÓN	230
VII.2 MARCO CONCEPTUAL DE LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL EN MÉXICO	231
VII.3 INVESTIGACIÓN SOCIOECONÓMICA RELACIONADA CON EL PRODUCTOR Y SUS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	232
VII.3.1 MARCOS DE REFERENCIA Y DIAGNÓSTICOS	232
VII.3.2 MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE DIAGNÓSTICOS	233
VII.3.3 PRINCIPALES RESULTADOS ENCONTRADOS	233
VII.4 INVESTIGACIÓN SOCIOECONÓMICA RELACIONADA CON LA AGROINDUSTRIA Y LA CADENA DE VALOR	234

VII.5 ESTUDIOS SOCIOECONÓMICOS SOBRE LA AGROINDUSTRIA LECHERA	234
VII.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA AGROINDUSTRIA QUESERA EN EL TRÓPICO MEXICANO	235
VII.5.2 TENDENCIAS DE LA AGROINDUSTRIA LECHERA ARTESANAL	235
VII.6 ESTUDIOS DE PROSPECCIÓN SOBRE LAS CADENAS AGROALIMENTARIAS DE BOVINOS	236
VII.7 EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD	238
VII.8 INVESTIGACIÓN SOCIOECONÓMICA RELACIONADA CON LA POLÍTICA PÚBLICA	239
VII.9 EVALUACIÓN DE IMPACTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE TECNOLOGÍAS Y CONOCIMIENTOS APLICADOS A LA GANADERÍA BOVINA	239
VII.10 IDENTIFICACIÓN Y ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS APLICADAS A LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE GANADERÍA BOVINA TROPICAL	239
VII.11 ASPECTOS FISCALES PARA LA GANADERÍA	241
VII.11.1 PRINCIPIOS PARA ESTABLECER UN IMPUESTO	241
VII.11.2 EL ANTIGUO ESQUEMA DE “BASES ESPECIALES DE TRIBUTACIÓN”	241
VII.11.3 RÉGIMEN SIMPLIFICADO PARA LAS ACTIVIDADES GANADERAS	242
VII.11.4 LA FIGURA TRIBUTARIA ACTUAL DE LAS ACTIVIDADES GANADERAS	243
VII.11.5 PERSONA MORAL POR CUENTA DE SUS INTEGRANTES	245
VII.12 RETOS DE LA INVESTIGACIÓN	245
VII.12.1 SOBRE EL PRODUCTOR DE BOVINOS EN EL TRÓPICO Y SU UNIDAD DE PRODUCCIÓN	245
VII.12.2 SOBRE LA AGROINDUSTRIA Y LAS CADENAS DE VALOR	246
VII.12.3 SOBRE ESTUDIOS DE POLÍTICA PÚBLICA DE APOYO A LA GANADERÍA TROPICAL Y SUS IMPACTOS	246
VII.13 LITERATURA CONSULTADA	247
<b>CAPITULO VIII</b>	<b>251</b>
<b>LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA BOVINA EN LAS REGIONES TROPICALES DE MÉXICO</b>	<b>251</b>
VIII.1 INTRODUCCIÓN	251

VIII.2 LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA: PARADIGMAS Y ENFOQUES CONCEPTUALES	252
VIII.2.1 MODELO LINEAL (DIFUSIÓN DE INNOVACIONES)	252
VIII.2.2 MODELO INTERACTIVO	253
VIII.2.3 MODELO REFLEXIVO	253
VIII.3 EXPERIENCIAS EN AMÉRICA LATINA	254
VIII.4 APLICACIONES DE LOS MODELOS: EXPERIENCIAS EN MÉXICO	256
VIII.4.1 MODELO LINEAL	256
VIII.4.2 MODELO INTERACTIVO	258
VIII.4.2.1 MODELO GGAVATT	261
VIII.4.3 MODELO REFLEXIVO	263
VIII.5 LAS ACCIONES DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN LAS GANADERÍAS DE MÉXICO 2000-2015	264
VIII.5.1 PROGRAMA NACIONAL PARA LA VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA (PRONAVATT) 1996-2003	264
VIII.5.2 RED NACIONAL DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA DEL INIFAP (RENAVATT) 2004 – 2009	265
VIII.5.3 MODELO DE MICROCUENCAS	265
VIII.5.4 MODELO GRUPOS GANADEROS PARA LA VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA (GGAVATT)	265
VIII.5.5 UNIDAD TÉCNICA ESPECIALIZADA PECUARIA (UTEP)	266
VIII.5.6 AGENCIAS PARA LA GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN (AGI)	266
VIII.5.7 CENTROS DE DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDTs - FIRA)	267
VIII.5.8 GRUPO DE INTERCAMBIO TÉCNICO (GIT)	267
VIII.5.9 COORDINADORA NACIONAL DE LAS FUNDACIONES PRODUCE (COFUPRO)	268
VIII.5.10 OTRAS ESTRATEGIAS PECUARIAS	268
VIII.6 PERSPECTIVAS	268
VIII.7 LITERATURA CONSULTADA	270

# PRESENTACIÓN Y RESUMEN DEL DOCUMENTO DEL ESTADO DEL ARTE DE LA RED DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL (REDGATRO)

Everardo González Padilla

La región tropical mexicana es la de mayor potencial para mantener los hatos de cría bovina del país y para contribuir a la nutrición de las comunidades más pobres y aisladas con la producción local de leche y carne. En México, las áreas tropicales, clasificadas como Trópico Seco (TS) y Trópico Húmedo (TH) son alrededor de 24 y 32 millones de hectáreas, respectivamente, y de éstas se utilizan para pastoreo más de 23 millones, que se estima producen alrededor del 80 % del forraje de temporal para pastoreo del país y que son las que tienen, con mucho, el mayor potencial para aumentar aún su producción de alimentos para herbívoros. Allí existen más de 500 mil unidades de producción; más del 80 % con menos de 30 vacas y se ubica cerca del 60 % del pie de cría de bovinos en pastoreo del país; o sea, los productores cuentan con recursos financieros muy limitados, pero poseen una enorme riqueza en sus tierras y ganado. Los sistemas mixtos carne leche son más frecuentes en hatos pequeños y en los de regiones más marginadas (55 % en los municipios de muy alta marginación). La productividad de los hatos está abajo del 50 % de su capacidad biológica y aunque prácticamente se han suspendido los desmontes, hay en las enormes superficies de las tierras para pastoreo en el trópico un enorme valor del país que hay que recuperar y usar racionalmente. Información de trabajos recientes de investigación (UNAM-SAGARPA) señalan que se ha creado la conciencia de conservación en la mayoría de los productores; más del 95 % cuidan el arbolado que tienen, y entre el 40 y el 80 % mantienen áreas de exclusión al pastoreo y utilizan arbustos y árboles forrajeros en mayor o menor medida. Entonces, la aplicación de los nuevos conocimientos en esas unidades de producción tendrá un efecto a corto plazo en la productividad de los hatos y en el mediano y largo plazos en el mejoramiento de las tierras. Sin embargo, el sistema de Ciencia-Tecnología – Innovación local es poco tomado en cuenta para la definición de las políticas locales para mejoramiento del agro, por lo que las instituciones locales deben ser apoyadas para su desarrollo y acompañadas por las instituciones nacionales e internacionales, con más influencia y reconocimiento, para acercar a lo local la atención

del desarrollo rural involucrando también a usuarios y tomadores de decisiones.

Por otra parte, hay excelentes perspectivas de mercado para los productos del sistema de ganadería bovina tropical, y amplio campo de mejora cualitativa y cuantitativa en los bienes que produce, para lo que se requiere como elemento estratégico el soporte tecnológico y científico. La innovación permitirá contribuir a la seguridad alimentaria del país y a generar mayor ingreso sostenible para los productores de la región y con ello hacer factible la posibilidad de que inviertan para conservar y mejorar los recursos naturales y el ambiente. De allí el interés de crear una Red de Investigación e Innovación en Ganadería Bovina Tropical con investigadores de larga y destacada trayectoria, conjuntamente con investigadores recién formados, a efecto de reforzar los esfuerzos de CONACYT y otras instituciones para promover la ciencia y la tecnología y optimizar el uso de infraestructura, y talentos, de las organizaciones nacionales y las de sus vínculos internacionales sumándolas al trabajo de instituciones locales académicas, de investigación y de apoyo a la transferencia de tecnología. El sistema a atender es muy complejo, ya que su funcionamiento y resultados dependen de interacciones de factores bióticos y abióticos, que van desde la cantidad de lluvia y calidad de suelos y plantas, y las cualidades de los animales para producir en ese medio (coexistiendo con parasitosis y estrés ambiental), hasta cuestiones económicas (generalmente definidas por decisiones de política) culturales y de intereses de las sociedades e individuos. La atención, entonces, no debe ser solamente a la producción y la productividad animal, sino también al mejoramiento de los recursos naturales que ya depredamos como sociedad y debemos devolverles parte de lo que les hemos extraído, y a las necesidades e intereses de los productores y pobladores de esas regiones. Por ello, la definición de prioridades para la investigación y la innovación tecnológica y la mejor forma de abordar su atención, debe venir de la opinión, información y participación de una gama amplia de especialistas, productores, agentes de cambio y actores del desarrollo de las regiones tropicales, consultas que

se han venido realizando y que se complementan con el presente documento.

Entre las tareas que debe cumplir cualquier Red Temática de CONACYT, está la de generar un documento de referencia denominado “Estado del Arte” en el objeto de atención de la Red. Para ello se invitó a especialistas de distintas disciplinas, participantes en la REDGATRO, a contribuir con el desarrollo de los temas aquí contenidos. El documento que se presenta tiene la aportación de más de 70 de ellos en una temática que se agrupó en: los recursos naturales y su aprovechamiento; el componente de los animales y su interacción con el entorno y la participación de los productores en el sistema. En todos ellos se procuró compilar información relevante generada o referida a México y no únicamente la disponible en el entorno internacional.

## Resumen

### Los Recursos Naturales y su Aprovechamiento:

El capítulo sobre los recursos naturales y uso de la tierra destaca que la actividad ganadera pastoril es la actividad económica más extendida y que depende de la producción de biomasa forrajera, que en el país se obtiene de las áreas de agostaderos naturales e inducidos (29.3 %), las praderas introducidas (41.3 %), los cultivos forrajeros (4.9 %) y los esquilmos o residuos de cosechas (23.9 %). El mayor impacto en cuanto a cambios históricos de uso del suelo, lo ha sufrido el bioma de selva tropical, donde la producción pecuaria se ha asociado directamente con la transformación del bosque. Ecosistemas tan frágiles y amenazados por su distribución restringida y altamente fragmentada como el bosque de niebla, se han abierto a la agricultura y pastoreo. De una superficie original, estimada en 3 millones ha en el país (1.5 % de la superficie nacional), para el año de 2007 se redujo a 1.35 millones, de los cuales el 37 % es vegetación secundaria. La selva húmeda con una superficie potencial de 17.8 millones ha, para el 2007 se redujo a 9.2 millones de los cuales el 67.4 % es vegetación secundaria. La selva subhúmeda, ha estado sujeta a un pastoreo extensivo de la vegetación nativa con cargas animales por lo general altas. De 28 millones de hectáreas se redujo a 15.6 millones (conteniendo el 58.3 % de vegetación secundaria). La selva espinosa se ha reducido a sólo 16.4 % (710,000 ha) de su superficie original (4.3 millones ha), de lo cual el 95 % ya es vegetación secundaria. En respuesta a los efectos negativos asociados con las actividades de la ganadería bovina en pastoreo, se ha considerado prioritario el fomentar una “reconversión” ambientalmente sostenible de la ganadería, como una estrategia de formas de producción diferente que limite la transformación de ecosistemas y mantenga servicios ambientales, incorporando a las actividades de manejo zootécnico, principios como: la diversificación de los animales domésticos en producción y la combinación del uso de especies vegetales nativas y cultivadas exóticas, controlando carga animal de acuerdo al potencial de los ecosistemas para mitigar los impactos negativos sobre los suelos.

Uno de los enfoques no convencionales de producción desarrollados con mayor potencial de éxito, son los sistemas de producción silvopastoriles (SSP), con sus respectivas variaciones y combinaciones (por ejemplo, agroforestales, agropastoriles, agrosilvopastoriles). Estos sistemas combinan policultivos agrícolas, aprovechamiento

forestal y manejo del ganado bajo enfoques que promueven mayor complejidad estructural en potreros, a través de cercas vivas, callejones, mantenimiento de árboles en potreros, bancos de proteína y energía (manejo de parcelas de árboles, arbustivos y leguminosas forrajeras), pastoreo de vegetación secundaria y huertos, combinación de especies herbívoras domésticas en pastoreo, entre muchas otras técnicas de manejo. La mayoría de estos modelos se originan en el rescate de prácticas tradicionales de uso de recursos y producción agropecuaria. Un ejemplo son los sistemas agroforestales tradicionales, como los bosques manejados de la cultura Maya en Mesoamérica, quienes combinaban el policultivo de vegetales domesticados y especies silvestres con el fomento de árboles nativos útiles, bajo variados enfoques de manejo (e.g., roza-tumba-quema; terraceo y campos elevados en zonas inundables; claros selectivos y arboricultura; entre otros), manteniendo un mosaico diverso de diferentes estados de sucesión vegetal entre zonas de vegetación primaria, donde sobreviven gran diversidad de invertebrados y vertebrados silvestres. Finalmente, un modelo que incluye el aprovechamiento de vida silvestre es el conocido como la “ganadería diversificada” que combina un pastoreo extensivo del ganado con áreas reservadas al mejoramiento del hábitat de diferentes especies de animales para su aprovechamiento cinegético o recreativo, que incluyen venados, suidos, gallináceas y palomas silvestres, entre otras. El modelo, se ha aplicado con éxito en varios ranchos ganaderos del norte de México, aunque también se ha aplicado en las zonas tropicales, en particular en los ejidos, donde se involucra además otras formas de cosecha no cinegética de especies nativas de flora y fauna, e incluso aprovechamientos no extractivos en combinación con el pastoreo de la vegetación nativa por ganado.

El tema de **forrajes y pastoreo** se destacan como limitantes principales para la producción, la fluctuación estacional de la precipitación pluvial y la baja disponibilidad de N en el suelo. Se describe que hasta antes de la década de 1980, la producción en pastoreo en América Latina se realizaba con base en gramíneas nativas y africanas naturalizadas, las cuales arribaron paulatinamente desde la época Colonial (viajes de esclavos africanos, como cama y alimento de semovientes), así como el resultado de esfuerzos localizados por introducir materiales forrajeros destacados a finales del siglo XIX y principios del XX (desacelerado por la revolución y la depresión económica) y, durante la segunda mitad del siglo XX a través de los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA-Banco de

México), los institutos que dieron origen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y esfuerzos individuales de investigadores y productores. Sin embargo, la constante en estas introducciones de recursos genéticos fue una pobre representatividad de la diversidad de cada especie de importancia forrajera, originada en los centros de origen de cada una, ubicados de forma mayoritaria en diversas regiones de África para el caso de especies tropicales de Poaceae; y para el caso de leguminosas forrajeras, en América tropical, Asia y África. Un esquema de adopción de recursos de amplia representatividad dentro de cada especie constituirá una base sólida para incrementar la estabilidad ecológica y máxima producción de los sistemas bajo pastoreo.

En el trópico húmedo de México, la investigación oficial en forrajes se inició en 1956 con la Oficina de Estudios Especiales (OEE) del Campo Experimental Cotaxtla, en Veracruz. En 1960, se crean dos institutos, sustituyendo a la OEE; en los cuales, se realizó investigación en forrajes: INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas) y el Campo Experimental “La Posta”, en Paso del Toro, Veracruz, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias (INIP), ambos en Veracruz. Ambos institutos se fusionaron en 1985, para constituir el actual INIFAP. En 1970, se inaugura el hoy extinto Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT) en Cárdenas, Tabasco; el cual, tuvo como función principal la formación de profesionales de licenciatura y maestría; sin embargo, mostró en forma similar, un fuerte desarrollo de investigación en forrajes y pastoreo, con el objetivo de alcanzar el máximo de producción de materia seca. A principios de la década de 1980, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) estableció el Centro de Investigación, Enseñanza y Extensión en Ganadería Tropical (CIEEGT) en Martínez de la Torre, Veracruz, y el Colegio de Posgraduados inauguró el Centro Regional de Enseñanza e Investigación para el Desarrollo del Trópico Húmedo (CRECIDATH), actualmente, *Campus Veracruz*, entre los más importantes; los cuales han desarrollado investigación en materia de forrajes y pastoreo, aunque con fuerte énfasis en la formación de profesionales, en donde la investigación se centra en la elaboración de tesis de licenciatura y maestría, con menor interacción directa con productores, respecto a la que se alcanza a través de INIFAP.

Los tres componentes básicos de la producción en pastoreo, que deben ser considerados en la investigación e innovación tecnológica incluyen: 1) *Mérito vegetal*, que es la determinación de los

componentes que definen la mejor respuesta al manejo en morfología de planta y estructura de la pradera (como factores de mayor importancia en la interacción planta-animal), para la producción de forraje de calidad y con mayor rendimiento de materia seca. 2) *Mérito del animal* en términos de la población ganadera y la expresión de sus valores genéticos cuando no sufre épocas de hambruna y, en general la mejora en la eficiencia de parámetros del hato. 3) *Ganaderos Profesionalizados*, ya que son ellos quienes están a cargo del manejo de la pradera, el hato y las innovaciones tecnológicas para alcanzar la máxima producción sustentable.

Entre los trabajos para la evaluación de germoplasma forrajero se destaca que durante los años ochenta, en Veracruz, se evaluaron más de 100 accesiones de gramíneas y 270 de leguminosas, tanto nativas como introducidas; entre éstas, se seleccionaron materiales de Guinea Megathyrus maximus Sin. P. maximum de hoja fina y Coloniaio; Elefante y Merkeron Pennisetum purpureum; Alemán, Echinochloa polystachya; las cuales, después de 40 años de haber sido seleccionadas, continúan siendo importantes para la alimentación del ganado por la superficie sembrada. Actualmente se han iniciado proyectos de intercambio con el International Livestock Research Institute del Grupo Consultivo de Investigación Agrícola Internacional (ILRI-CGIAR) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)- CGIAR, con lo cual se espera acelerar este proceso y subsanar la baja representatividad de la diversidad de especies exóticas o introducidas de importancia.

Los suelos de zonas tropicales se caracterizan por ser de pH ácido (<7), y aquellos suelos con acidez de pH 5 o menor, tienen un efecto inhibitorio sobre la fijación simbiótica de N, ligada no solamente a protones liberados, sino también al aumento de la solubilización de iones tóxicos como Al y Mn, a deficiencias de Ca, Mg, P y Mo. Dado que especies forrajeras altamente productivas afectan el ciclo de nutrientes en suelos tropicales, también reducen la condición de la pradera, por tanto, se requiere de manejo de fertilización natural (asociación con especies fijadoras de N) o artificial (química), lo cual es un punto importante de investigación en el área de forrajes por dos razones: 1) costos de la fertilización y 2) renuencia de los ganaderos para realizar esta actividad agronómica. Diversos estudios probaron dosis de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), y en estos se definió la importancia del N como factor fundamental, después de la sequía y la temperatura de crecimiento, para incrementar o mantener el desarrollo de las gramíneas y, por tanto, la productividad de la pradera. Los trabajos integrales

realizados en CSAT, indican que la respuesta al N, en pasto estrella, es lineal hasta aplicaciones de 400 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, sin encontrar respuesta al P en suelos donde esta especie se desarrolló. El factor limitante más común en la nutrición de plantas, es la baja disponibilidad de N mineral del suelo, ya que la cantidad que proviene de la amonificación y nitrificación de la materia orgánica es insuficiente. La fijación biológica de nitrógeno atmosférico se vuelve la alternativa viable, y éste es el proceso de convertir el gas nitrógeno del aire (N<sub>2</sub>), en amonio (NH<sub>4</sub>), forma intermediaria y asimilable por la planta, y su mineralización a nitratos. Pocas bacterias transforman el N no disponible a una forma reducida con valor en la agricultura. Por ello, para mantener altos rendimientos en praderas de gramíneas altamente productivas como las africanas, se tiene que recurrir a la fertilización nitrogenada, lo que eleva los costos de producción, la contaminación del suelo y agua, convirtiendo este sistema en no sustentable. Tanto para incrementar el valor nutritivo de los forrajes tropicales, como para aprovechar la capacidad de fijación biológica de nitrógeno de la diversidad de especies leguminosas Fabaceae, así como permitir el ahorro de costos y esfuerzo en la aplicación de este elemento a los ganaderos, desde hace 40 años se reconoce la importancia de integrar leguminosas a las praderas tropicales, siendo Australia el país que integró éstas con mayor éxito a los sistemas de pastoreo tropicales. Por lo anterior, las leguminosas forrajeras (Fabáceas) actualmente deben convertirse en un componente primordial de las praderas. Las leguminosas tienen la facultad de asociarse con bacterias del suelo del género Rhizobium, y a través de una relación simbiótica, la bacteria abastece de nitrógeno directamente a la leguminosa e indirectamente, mediante la mortandad de raíces y la integración bacteriana, a las gramíneas forrajeras adyacentes. A pesar de las ventajas que implica esta tecnología de asociación de gramíneas y leguminosas, no se ha logrado su adopción masiva entre los productores; las causas son diversas, sin embargo, entre las más importantes están: 1) El bajo nivel de persistencia de la leguminosa (principalmente de hábito prostrado) bajo el manejo actual del productor, i.e. la palabra clave en el uso de leguminosas es: persistencia de la asociación. 2) La baja disponibilidad de semilla en oportunidad, cantidad y a costos accesibles para realizar la siembra (pobre planeación de la demanda en base a los cierres de ventanillas y programas oficiales de apoyo). 3) La necesidad de desarrollar y compartir tecnología para el establecimiento de éstas entre la diversidad de condiciones fisiográficas y de gramíneas de hábito de crecimiento diferencial, entre otras. Estas limitantes han también condicionado el aumento de

superficies en el tipo sistema silvopastoril basado en *Leucaena* y gramíneas en condiciones de temporal.

En México, entre 1960 y 1980 pocos estudios se enfocaron a la multiplicación de semilla; lo anterior, por el hecho de que la mayoría de las especies seleccionadas previamente, se reproducían exclusivamente de forma vegetativa: Pangola, Alemán, Pará *Brachiaria mutica*, Elefante, Merkeron, Estrella, etc.; lo anterior, exceptuando Jaragua y Guinea o Privilegio, cuya demanda era cubierta con la cosecha oportunista a orillas de carretera o de potreros destinados para el autoabastecimiento. A partir de 1989 se iniciaron las siembras masivas de praderas, mediante semilla botánica de las nuevas especies en el trópico de México, dichas siembras se establecieron con semilla importada de Brasil y Australia, y las especies de *Brachiaria* representaron el 80 %. Se ha desarrollado en México tecnología en lo referente a manejo del rendimiento y sus componentes mediante sincronización de la floración, fertilización, métodos de cosecha, desarrollo de equipo de cosecha; también en el desarrollo de tecnología para el mejor establecimiento de praderas: comportamiento de la latencia de la semilla, métodos de incremento de la germinación, uso de tutores en la siembra de leguminosas, etc. Esto y la iniciativa de empresarios y productores ha permitido producir semilla comercial de: *Brachiaria*, *Cenchrus ciliaris*, *Andropogon gayanus*, Clitoria, *Leucaena* y Kudzú, de las cuales se abastecen las necesidades del país; sin embargo, se requiere seguir mejorando la calidad biológica y el incremento de la producción en estas y otras especies. También se ha iniciado la producción de pequeñas cantidades de semilla de algunas especies de *Arachis pintoi*. La producción de semilla de especies forrajeras en México se fortalecerá, ya que actualmente se están dando los primeros pasos para producir semilla a nivel empresarial en forma mecanizada, lo que permitirá abastecer la demanda nacional.

Entre los países tropicales latinoamericanos, Brasil destaca con la aplicación de la mayor cantidad de recursos económicos y humanos para el desarrollo de la ganadería eficiente en pastoreo. Brasil comenzó su programa de mejoramiento genético de pastos durante la década de 1990, mediante la introducción sistemática de nuevos genotipos desde el centro de origen de especie para *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *B. ruziziensis*, *B. dictyoneura* y *M. maximus*; posteriormente, seleccionó genomas para: mayor producción, mayor calidad, mayor adaptación y finalmente, la manipulación genética mediante cruza dirigidas. Entre las estrategias actualmente utilizadas en

Brasil para mejorar atributos cuantitativos de interés agronómico incluyen: 1) selección recurrente recíproca, 2) selección recurrente intrapoblacional de individuos sexuales y 3) cruza dirigidas entre apomícticos y sexuales; los trabajos son enfocados a mejorar el rendimiento de forraje, resistencia a mosca pinta, tolerancia a la sequía, tolerancia a niveles tóxicos de Al y valor nutritivo elevado del forraje. En estudios avanzados, se pretende evaluar híbridos selectos durante siete cosechas (dos en sequía y cinco estaciones lluviosas) para definir sólidamente, híbridos superiores estimando valores de heterosis y de aptitud combinatoria para los atributos agronómicos indicados, con la posterior evaluación para ambientes desafiantes.

La mejor pradera (idealmente) contiene la mejor gramínea(s) para cada condición de producción en el rancho ganadero (tipo de suelo, clima, economía para la producción, etc.) combinada con la leguminosa adaptada a la diversidad de regiones y que persista bajo pastoreo. Las leguminosas rastreras poseen menor soporte al pisoteo y defoliación, con baja o pobre restricción o control de la intensidad acorde al crecimiento, de ahí su problema principal: baja persistencia bajo pastoreo. Contrariamente, las especies con mejor nivel de persistencia bajo pastoreo son arbóreas, destacando *L. leucocephala* y, entre las de hábito de crecimiento rastrero, *A. pintoi*, ambas con requisitos diferenciales: *Leucaena leucocephala* no soporta suelos muy ácidos e inundables, además requiere manejos específicos para su asociación con gramíneas estoloníferas agresivas, y muestra mayor adaptación al trópico seco en comparación al húmedo; por su parte *Arachis pintoi* tiene baja disponibilidad de semilla en el mercado.

En innovación tecnológica, la adopción de nuevas tecnologías supone la reestructuración del sistema de producción. En el caso del pastoreo, el de mayor impacto es el cambio de los días gregorianos (cronológicos) como herramienta del manejo del pastoreo por el de la respuesta fisiológica vegetal y su relación con el ambiente (días-calor para el crecimiento); lo anterior, porque las comunidades vegetales se adaptan a la defoliación mediante mecanismos capaces de asegurar su longevidad y eficiencia fotosintética. El factor estructural de mayor sensibilidad a estas adaptaciones es el Índice de Área Foliar. El pastoreo a través de la intensidad (número de animales) y frecuencia de pastoreo (pastoreo rotacional o continuo), resulta en alteraciones de la vegetación: morfológicas, fisiológicas (velocidad de rebrote), de biomasa aérea y distribución de la biomasa radical y sus interacciones: disponibilidad de humedad, de

nutrientes, intensidad luminosa y estadio fenológico de las plantas. Estas alteraciones, similarmente, varían con la época del año. El pastoreo reduce el área foliar por remoción de tejido y causa reducción en la reserva de nutrientes por la necesidad de la planta de asignación de reservas a nuevo desarrollo de raíz y parte aérea, para compensar las pérdidas de tejido fotosintético; se ha documentado la importancia de las reservas de N orgánico, amino ácidos libres y nitratos; lo anterior, como factores que limitan en mayor proporción el rebrote en el forraje, en comparación con las reservas de Carbono.

Existe el conocimiento y la tecnología para transferir y hacer más eficiente la producción y utilización de los forrajes tropicales, sin embargo hay importantes tareas con las que hay que continuar:

1. La integración y uso, por parte de los ganaderos, de los conocimientos validados, existentes en la literatura disponible para incrementar la producción en pastoreo.
2. Conservación y mejora de la base genética de las especies vegetales de mayor importancia.
3. Trabajar de manera consistente hacia objetivos de largo plazo para atender la problemática que representan condiciones como: sequía, nubosidad, bajas temperaturas y fijación de nitrógeno, entre las de mayor impacto y pertinencia social.

La adaptación de los forrajes al cambio climático y disminución de emisiones de gases de efecto invernadero por los animales en pastoreo o estabulados, deben de concretarse en nuevos programas de investigación. Es pertinente considerar el establecimiento de un Centro Nacional de Investigación en Forrajes.

En materia de **alimentación animal** y aprovechamiento de los forrajes, el esfuerzo de investigación e innovación tecnológica en las regiones tropicales está dirigido hacia el incremento en la eficiencia de transformación de energía y fuentes nitrogenadas que consume el ganado en pastoreo, con el consecuente aumento de la producción y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (metano y el óxido nitroso) por unidad de producto que se obtiene de los animales. En este sentido la investigación científica está orientada hacia el desarrollo, y la incorporación de diversas tecnologías en los sistemas de producción encaminadas a incrementar la fermentabilidad ruminal de los pastos de mediana-baja calidad (para extraer la mayor cantidad de energía útil), así como a sincronizar la disponibilidad de los carbohidratos

y de las proteínas en el rumen, para incrementar la eficiencia de uso de ambos nutrimentos. La producción de carne y leche bovina depende en buena medida de las cantidades de energía y proteína metabolizables (EM, PM) absorbidas por día desde el tracto gastrointestinal (rumen, intestino delgado), y de la eficiencia de utilización de estos nutrimentos en el músculo y en el tejido adiposo, así como en la glándula mamaria para los diversos procesos de síntesis. Es escasa la información disponible en México acerca de las cantidades de EM y de PM absorbidas por los bovinos en pastoreo en el trópico, y acerca de la eficiencia de utilización de estos nutrimentos para las diferentes funciones fisiológicas (mantenimiento, crecimiento, gestación, síntesis de leche).

Los pastos tropicales son cultivados principalmente bajo condiciones de temporal. Existen fluctuaciones en el rendimiento (toneladas de materia seca por hectárea), composición química (proteína cruda, fibra detergente neutra) y calidad (digestibilidad de la materia seca) de los pastos a través del año, debidas en buena medida a las variaciones en la precipitación pluvial y al fotoperíodo. Se presentan tres estaciones a través del año: la de secas, la de lluvias y la de nortes. Durante la estación de secas generalmente hay disponibilidad de pasto seco, el cual tiene una baja concentración de proteína cruda (<7%), una alta concentración de fibra detergente neutra (~80%), una baja degradabilidad ruminal de la materia seca (~45%) y como resultado de lo anterior, una baja concentración de energía metabolizable (<7 MJ/kg materia seca) y bajo consumo de alimento (kilogramos de materia seca por día). Es de gran importancia que los bovinos en pastoreo consuman la mayor cantidad posible de materia seca (alrededor del 3 % del peso vivo) para cubrir sus requerimientos de nutrimentos (EM, PM) para una ganancia de peso o producción de leche, acorde con los objetivos del ganadero. La correcta alimentación del ganado en pastoreo presenta retos a cubrir por parte del técnico en cuanto a formulación de suplementos que contribuyan a resolver la problemática (baja fermentabilidad ruminal de la fibra detergente neutra y baja concentración de NH<sub>3</sub> en el rumen) que la producción ganadera enfrenta bajo condiciones tropicales. Recientemente se han propuesto algunos mecanismos que pueden ayudar a explicar los factores que determinan el consumo de pasto en bovinos en pastoreo, entre ellos la teoría de la oxidación hepática y el papel de hormonas tales como la leptina y la ghrelina en la regulación del consumo. Se ha sugerido que se pueden mitigar algunas de las limitantes que enfrentan los sistemas de alimentación del ganado bovino lechero en pastoreo mediante los efectos asociativos de los

alimentos, el efecto de sustitución y la sincronía de los nutrientes en el rumen, entre otros. Los sistemas de asociación de *Leucaena* con gramíneas ayudan en ese sentido; varios investigadores han proporcionado información relativa al consumo de materia seca y la conducta ingestiva de bovinos en pastoreo en Yucatán y en Veracruz en esas condiciones. Recientemente, se reportó que el consumo de forraje de *Leucaena leucocephala* en un sistema silvopastoril (asociación con *Cynodon nlemfuensis*) fue del 34 % del consumo total de materia seca de los forrajes, información que abona al uso de árboles y arbustivos asociados a las gramíneas para el pastoreo, como una posibilidad de reducir las emisiones de metano y óxido nítrico por los rumiantes, ya que los taninos condensados y saponinas de su follaje y frutos reducen la producción de esos gases en el rumen.

Por la importancia de los forrajes en la alimentación de los animales, es de vital importancia su evaluación nutricional. El avance en el conocimiento del valor nutritivo de los forrajes tropicales para los bovinos ha estado supeditado a los desarrollos tecnológicos en los equipos y metodologías que se emplean. En 1967 mediante el sistema de análisis con detergentes se discontinuó el análisis proximal para describir la fibra (fibra cruda) y los carbohidratos (extracto libre de nitrógeno) de los forrajes. Con las fracciones detergentes de fibra se logra una mejor descripción y cuantificación de la fibra y los carbohidratos fibrosos en las dietas. En 1992, por medio del modelo computacional Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS por sus siglas en inglés), se sustituyó el valor estático y empírico de digestibilidad de la dieta y sus ingredientes a tiempo fijo, por valores dinámicos de tasas de digestión, y mecánicos de nutrimentos digeribles totales (TND por sus siglas en inglés). Así como también, el valor de proteína cruda por cinco fracciones nitrogenadas de acuerdo a su solubilidad en el rumen. Actualmente la tecnología de espectroscopía de reflectancia en el cercano infrarrojo (Near Infrared Reflectance Spectroscopy, NIRS); permitirá determinar la composición química-nutricional de los forrajes en tiempo real y a un menor costo. De la misma manera, los equipos y métodos para medir las emisiones de metano, nitrógeno y fósforo empiezan a ser aplicados a la ganadería tropical. Ante este panorama, en México se empezaron a evaluar nutricionalmente los pastos tropicales bajo la estructura del CNCPS y en el cuerpo del documento se detallan una serie de estudios de producción de leche y de crecimiento de animales.

El uso eficiente de los forrajes tropicales se da cuando, con base en la composición nutricional

del material disponible, se establecen los sistemas adecuados de alimentación; lo cual, además, permite la planeación de estrategias dirigidas para la suplementación de materia seca, energía y proteína. La suplementación estratégica debe, sin lugar a dudas, considerar las fluctuaciones estacionales no sólo en la cantidad de materia seca producida, sino también en la composición nutricional de los forrajes disponibles; con base en tales consideraciones, se podrán diseñar alimentos que suplementen o complementen el forraje base, para obtener mejoras no solo en el comportamiento productivo, sino también en el comportamiento reproductivo. Aparentemente, la suplementación con grasa de sobrepeso no beneficia la producción ni la reproducción de animales en pastoreo en zonas tropicales, sin embargo, la suplementación a animales en pastoreo con un concentrado rico en cereales mejora la respuesta productiva y reproductiva, pues al alimentar vacas Holstein x Cebú con un concentrado basado en grano de sorgo, con 17 % de proteína cruda, 11.7 MJ de EM, al 0.9 % del peso vivo, pastoreando en praderas de Estrella de África, pariendo en épocas de lluvias y secas. Los resultados mostraron que a través de la suplementación se incrementó el consumo de materia seca junto con la proteína cruda y la energía metabolizable; la producción de leche aumentó de 7.8 a 11.1 kg por día en las vacas suplementadas, las cuales, además, no sufrieron de un balance energético negativo. En el aspecto reproductivo, las vacas suplementadas mostraron signos de estro en mayor proporción que las no suplementadas y la tasa de gestación a los 90 días tendió a ser mayor en las primeras.

La formulación de suplementos para vacas en pastoreo se mantiene como un tema que presenta retos y desafíos al técnico que trabaja con vacas de doble propósito en las regiones tropicales. Se ha propuesto que el principal factor que limita la producción de leche en vacas en pastoreo es el consumo de energía metabolizable, el cual en las regiones tropicales se empeora particularmente durante la estación de secas cuando la concentración de proteína cruda y la digestibilidad aparente de la materia seca de los pastos se reducen. Bajo estas condiciones es de particular importancia, considerar el posible efecto de una estrategia de suplementación (energética, proteica; de alta o baja degradación ruminal) sobre: el consumo de materia seca del pasto, los posibles efectos de sustitución, los efectos asociativos, la sincronía de los nutrimentos en el rumen y las pérdidas de nitrógeno desde el tracto gastrointestinal, entre otros factores. La eficiencia de uso de los diversos suplementos por los bovinos depende de varios

factores entre los que se encuentran: 1) los bovinos en pastoreo son capaces de seleccionar material vegetal con un buen contenido de proteína cruda; 2) puede ser que el suplemento no sea consumido por el animal en pastoreo; 3) los forrajes de baja calidad con frecuencia son deficientes tanto en energía como en otros nutrimentos, y las deficiencias de fósforo y azufre pueden limitar la respuesta a la proteína; 4) el requerimiento de proteína cruda en relación al suministro de energía disponible está determinado por la etapa de crecimiento y el estado fisiológico del animal, los forrajes pueden tener suficiente proteína para algunos tipos de producción pero no para otros; 5) los suplementos proteicos que no son muy degradables en el rumen, pueden ser deficientes en amino ácidos específicos o su valor biológico puede haber sido alterado durante su manufactura.

En México existe información y acceso a una serie de aditivos que coadyuvan con los propósitos de mejorar el aprovechamiento de los alimentos por los animales y de esta manera reducir los costos de producción en algunos sistemas. Entre estos se destacan los ionóforos, probióticos, enzimas fibrolíticas y beta agonistas como anabólicos. El uso de algunos ha sido altamente polémico y en general tienen un campo de acción muy limitado en los sistemas basados en el pastoreo, aunque cada vez más algunas fases de los diferentes sistemas del trópico se basan en la intensificación donde estas tecnologías tienen un amplio campo de acción.

Se percibe que en buena medida que la investigación científica en alimentación de rumiantes en las regiones tropicales del mundo está enfocada hacia el uso de los recursos forrajeros con altos rendimientos de materia seca por hectárea, composición química adecuada para obtener una máxima extracción de energía en el rumen, alta fermentabilidad ruminal de los carbohidratos estructurales, que se refleja positivamente en el comportamiento animal y un producto de calidad (alto marmoleo; suavidad, jugosidad, ácidos grasos n-3) para los mercados tradicionales y emergentes. El uso de enzimas fibrolíticas que mejoran la fermentabilidad de la fibra detergente neutra en el rumen es una de las opciones disponibles para lograr extraer la mayor cantidad de energía química almacenada en los alimentos, y convertirla en metabolitos energéticos (ácidos grasos volátiles) usados para la ganancia de peso y la producción de leche. Las tecnologías disponibles están enfocadas hacia la conservación (heno, ensilado) de forrajes y el uso de subproductos de buena calidad nutricional para suplementar a los bovinos durante las estaciones de baja disponibilidad de alimentos

(sequía, nortes), y así evitar fluctuaciones en el comportamiento animal, que comprometan la venta de animales en los mercados preferentes (animales jóvenes, canales pesadas) en el tiempo convenido con los clientes.

Diversas áreas de la ciencia animal que están jugando un papel importante en el entendimiento a profundidad de los límites y los desafíos que enfrentan los sistemas de producción bovina para incrementar la productividad ganadera, en particular en las regiones tropicales del mundo. La genómica, la transcriptómica y la secuenciación están jugando un importante papel en la identificación de las especies de metanógenos que tienen actividad relevante en la síntesis de metano en el rumen, así como en la identificación de agentes antimetanógenos que puedan inhibir o matar a los metanógenos, lo cual podría conducir hacia nuevos enfoques para la mitigación del metano ruminal en bovinos. La adopción de las metodologías de la nutrigenómica que estudia el efecto de los nutrimentos en la salud a través de las alteraciones en el genoma, el proteoma, el metaboloma, y los cambios fisiológicos resultantes, y la microbiómica digestiva, se vuelve entonces de vital importancia tanto para las actividades de investigación, como eventualmente en la producción misma. El estudio de las interacciones entre genes y nutrimentos ha sido un tema de interés creciente en las últimas décadas. Por ejemplo, el estudio del genoma de los ovinos ha permitido conocer detalles de la evolución y el metabolismo lipídico de la especie *Ovis aries*. Al igual que en otros campos de la biología, los primeros experimentos se centraron en uno o unos pocos genes, principalmente debido a las limitaciones tecnológicas en ese momento. Más recientemente, los avances en estas últimas, han hecho posible estudiar un gran número de genes e incluso todo el genoma en un solo trabajo. Respecto a la nutrición de los animales, en la medida que la población sea más consciente de los genes que están implicados en la salud, y de los polimorfismos asociados con esos genes, los científicos serán confrontados con la necesidad de hacer recomendaciones alimenticias significativas para mejorar la producción y la salud de las especies domésticas (de granja y mascotas).

## Los animales y su interacción con el entorno

Para las actividades de **mejoramiento genético** en la ganadería bovina tropical se pueden encontrar experiencias que van desde la introducción de animales especializados en producción de leche, hasta animales locales adaptados a las condiciones

del medio ambiente tropical. Los sistemas de cruzamiento han sido herramientas de mejoramiento genético de las razas locales o criollas y cebuinas, y la incorporación de diversas razas especializadas mediante la importación de semen, embriones y sementales *B. taurus* para su uso posterior en hembras locales. La introducción de animales de razas especializadas puras a las regiones tropicales no ha tenido éxito, debido entre otras causas a los problemas de salud y adaptación, diferentes objetivos de producción entre las regiones de origen y las regiones tropicales, escasez o ausencia de infraestructura requerida para la recolección y procesamiento de la información producida, así como aspectos genéticos y fisiológicos distintos a los requeridos para el mejoramiento genético de características específicas en las regiones tropicales.

Dentro de la experiencia de países con desarrollos en ganadería tropical para producción de leche, se han utilizado los cruzamientos como herramientas para el mejoramiento de sus poblaciones y para la formación de las llamadas razas sintéticas: En **India** se incrementó la producción de leche en un 4 a 6 % anual durante 20 años, principalmente apareando sementales de razas lecheras especializadas con vacas nativas obteniendo vacas con mayor potencial productivo. En **Tanzania**, el uso de sistemas de cruzamiento se remonta a principios de los 30s aunque se formalizó en 1958, mediante el uso de metodologías adecuadas para el desarrollo, pruebas de progenie, selección, sistemas de control de producción y sistemas de apareamiento. Los objetivos principales fueron, por un lado desarrollar una raza de ganado en la cual las vacas produjeran 2,270 kg de leche de buena calidad por año, y que destetaran becerros de buena calidad de canal de alrededor de 230 kg, sin dependencia de grandes cantidades de concentrado; Aunque no se logró el objetivo de producción, ésta si se vio incrementada al producir en la primera, segunda y tercera lactancias entre 1,200 y 1,530, entre 1,425 y 1,675 y entre 1,475 y 1,800 kg, respectivamente. En **Australia**, se tiene como experiencia la formación de una raza básicamente diseñada para exportarla, que es la Australian Milking Zebu (AMZ); se hizo mediante el establecimiento de un programa de cruzamiento y selección, con la finalidad de formar una raza productora de leche y resistente a las enfermedades prevalecientes dentro de las regiones tropicales de Australia. Se utilizaron dos razas Cebú, Sahiwal (SW) y Red Sindhi, y como raza europea se utilizó Jersey, manteniendo los porcentajes de genes Cebú entre el 30 y 35 % y siendo la SW la de mayor uso debido a su comportamiento productivo sobresaliente. Posteriormente se incluyeron genes

de razas de mayor tamaño, principalmente Holstein (HS), aunque también las razas Guernsey y Suizo Pardo fueron utilizadas. En **Cuba**, en la década de los 60s se iniciaron trabajos de mejoramiento genético basándose en la utilización de Cebú (CE), que representaba el 95 % del inventario en ese momento, y en la introducción de la raza HS. El objetivo principal de este programa fue el de llegar a formar una población seleccionada a partir de los animales mejor adaptados a las condiciones ambientales de Cuba, mediante cruzamientos absorbentes utilizando sementales de alto valor genético, y creando nuevas razas donde no se excediese el 75 % de genes de origen Holstein. Los genotipos a desarrollar fueron Siboney [SBC] (5/8 HS 3/8 CE), Mambi [MMC] (3/4 HS 1/4 CE), Taino (5/8 HS 3/8 Criollo) y Caribe de Cuba (5/8 HS 3/8 Santa Gertrudis). La producción de leche de SBC presentó un rango de producción entre 2,500 y 2,809 kg y una duración de lactancia entre 257 y 271 días; y para MMC la producción de leche reportada fue de 3,403 kg en 270 días basada en 1,780 registros productivos. Las heredabilidades estimadas para leche total fueron  $0.26 \pm 0.06$  y  $0.25 \pm 0.04$  en SBC y MMC, respectivamente. En **Brasil**, la experiencia se basa en la utilización de razas europeas, principalmente HS y CE, predominantemente Gyr y Guzarat. Lo cual tuvo como objetivo obtener vacas cruzadas para sistemas donde la producción de leche fuera de 2,500 kg/vaca/año, fijando un genotipo de 5/8 HS x 3/8 CE, tomando esta decisión con base a una encuesta donde se puntualizó que los genotipos 5/8, 3/4 y 7/8 eran los que mejor comportamiento productivo presentaban en comparación con las media sangre y los animales puros. La producción promedio de los 14 hatos elite para la selección de hembras, fue de 2,549 kg en 6,092 lactancias de 2,300 vacas. En **Venezuela**, la información disponible menciona promedios de producción de leche y producción de leche corregida a 305 días de  $4,214 \pm 625.69$  y  $4,581.60 \pm 783.97$  y de  $5,147.89 \pm 869.03$  y  $5,715.85 \pm 1,029.81$ , para dos grupos raciales, 1/2 y 3/4 HS, respectivamente.

En **México**, se destaca la experiencia del “Complejo Agroindustrial de la Chontalpa” que contó con 22 ejidos y 81,000 ha en el año de 1966; se realizó la introducción de razas especializadas en producción de leche (como la HS y SP de países como Estados Unidos de América y Canadá, y se obtuvieron lactancias totales en promedio de 3,075 kilos de leche y 327 días de duración. La experiencia de la Chontalpa fue un fracaso debido a la falta de viabilidad económica, y a la elección de un sistema de producción impulsado y promovido para esta región, inadecuado para sus condiciones

ambientales y de producción. El Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias (INIP), hoy parte del INIFAP, realizó trabajos de introducción de razas especializadas de origen europeo, que se remontan a 1962 en el Campo Experimental La Posta, cuando se adquirieron vacas de las razas Holstein, Suizo Pardo y Jersey de las regiones templadas de México, principalmente del Bajío, y en Estados Unidos de América y Canadá, con la finalidad de encontrar las prácticas adecuadas que permitirían a los animales expresar su potencial. Resultado de este esfuerzo se cuenta con reportes de producciones de leche por lactación de 3,661 y 2,723 kg de leche por lactancia en 300 y 295 días para las cruza de Cebú con las razas Holstein y Suizo Pardo, respectivamente. Posteriormente en el mismo campo experimental se reportaron producciones de leche por lactación con base en 228 y 259 observaciones para Holstein y Suizo Pardo de  $3,212 \pm 72$  y  $2,737 \pm 55$  con duraciones de lactación de  $310 \pm 5.5$  y  $301 \pm 5.0$  días, respectivamente. En el Campo Experimental Las Margaritas, en un hato de ganado SP manejado en pastoreo continuo, se reportaron 48 lactancias completas, presentando una producción de leche total de  $2,434 \pm 503$  kg con lactancias de  $295 \pm 43$  días. En 1987 se reportaron producciones de leche de 3,311 kilos en lactancias de 311 días. En sistemas de doble propósito se informó de producciones de leche de 1,725 kg en lactancias de 317 días. En Oaxaca se reportó que vacas de la raza SP presentaron producciones de leche diarias de 5.8 kg por día. En Yucatán, en el Campo Experimental "Tizimín" se reportaron producciones de 2,385 kilos en lactancias de 336 días con vacas HS en un sistema de pastoreo rotacional. En un rancho comercial en la región Huasteca de Veracruz, presentaron producciones de leche de  $762 \pm 23.5$  kilos de leche por lactancia en  $168 \pm 3.8$  días con el ganado CR (cruzas indefinidas de CE y SP) del rancho, y conforme progresó un sistema de cruzamiento alterno con toros HS y CE manteniendo la proporción de genes europeos entre 50 y 75 %, se alcanzaron producciones superiores a 1,300 kg. En el Campo Experimental "Balancán" (CEB), se obtuvieron producciones de leche para vacas HS, SP y Simmental (SM) por CE, presentando rangos para cada grupo genético de 677 a 1,309, 588 a 1,204 y 910 a 1,168 kilos por lactancia y de 203 a 229, 203 a 220 y 200 a 257 días de duración de lactancia, respectivamente. Se presentan otros resultados del Centro y Sur de Veracruz y Sur de Tamaulipas. Las experiencias anteriores dieron origen al Proyecto Nacional "Mejoramiento Genético del Ganado Bovino de Doble Propósito en el Trópico Mexicano," donde participan diversos campos experimentales del INIFAP distribuidos dentro de las regiones tropicales de México y que

tiene como objetivo la formación de tres razas sintéticas especializadas en doble propósito, con una constitución genética 5/8 HS, 5/8 SP y 5/8 SM por CE. Además de los parámetros asociados con producción de leche, el documento detalla valores para producción de carne y eficiencia reproductiva asociados a diversas razas europeas y criollas y sus cruzamientos con Cebú.

En las últimas décadas, la genómica aplicada a especies de interés pecuario ha tenido un enorme progreso. La evolución de esta área, definida como el estudio de la estructura, función e interrelaciones de los genes y el genoma en su totalidad, ha pasado de la construcción de mapas genéticos y físicos, a la secuenciación de genomas completos. En última instancia, lo que se espera de esta información es obtener el dominio sobre la descripción fundamental de la función celular a nivel del ADN que incluye aspectos de regulación génica, expresión proteica e interacción entre proteínas. El genoma de bovino está compuesto de 29 pares de cromosomas autosómicos y dos pares de cromosomas sexuales; los genomas de rumiantes y en particular el del bovino, está compuesto aproximadamente de un 50 % de secuencias repetitivas de diferentes características y orígenes. De estas secuencias repetitivas, los microsatélites son las más abundantes, seguidas de los retroelementos SINE (Elementos Intercalados Cortos, por sus siglas en inglés) de menos de 400 pb y los LINE (Elementos Intercalados Largos, por sus siglas en inglés) de varias kilobases. Se ha estimado que el 45 % de los microsatélites en el genoma de los bovinos, están asociados a las regiones SINE (SINE/microsatélites). Los microsatélites extensivamente utilizados en la construcción de mapas genéticos, en estudios de genética de poblaciones, diversidad genética y análisis de paternidad y en la descripción de QTLs (quantitative trait loci) para diferentes rasgos productivos y para el posicionamiento de los genes candidatos asociados al rasgo productivo estudiado. En el documento se discuten diferentes aplicaciones de esos conocimientos para el mejoramiento y selección de poblaciones de animales. La evolución de la ciencia y la tecnología permitió la secuenciación del genoma bovino, y con ellos la verificación y descripción de una gran cantidad de Polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) entre las diferentes razas de ganado bovino. Los SNP son el tipo más común de variación genética identificada en los genomas de mamíferos, y rápidamente se convirtieron en los marcadores más populares para los diferentes estudios de genómica en bovinos. Los SNP son diferencias de un solo par de bases en un locus específico; por lo general constan de dos alelos donde la frecuencia

del alelo más raro es  $\geq 1\%$  (MAF). Comparados con los microsatélites, presentan amplia abundancia, estabilidad y más baja tasa de mutación (108) que los microsatélites (103); la nomenclatura más simple y lo que es más importante, hay automatización del proceso de tipificación y de interpretación de los datos. Actualmente, se han desarrollado arreglos de SNP de alta densidad como el Illumina BovineSNP50, GeneSeek GGP-HD 77K y el Bovine Bead Chip 778K SNP, que han sido ampliamente utilizados para el mapeo genómico, el descubrimiento de regiones genómicas asociadas a rasgos productivos complejos, y se han vuelto fundamentales para el desarrollo de la Selección Genómica (GS) y los estudios de asociación de genoma completo (GWAS). La GS y el GWAS, están descritos como potentes procedimientos en los que estadísticamente se correlacionan grandes cantidades de datos genéticos y fenotípicos, para hacer predicciones sobre el mérito genético del animal, y de esta manera maximizar, o acelerar el proceso de selección, aspectos que se discuten en el documento.

De la familia *Bovidae*, los del género *Bos taurus* han sido, a través de la historia, los más domesticados. El género *Bos taurus* alberga las subespecies *Bos taurus taurus* (*B.t. taurus*) y *Bos taurus indicus* (*B.t. indicus*), las cuales sufrieron un proceso de diferenciación evolutiva hace aproximadamente 300 mil años; las subespecies *B.t. taurus* y *B.t. indicus* tienen características únicas que van más allá de las diferencias fenotípicas evidentes, como la ausencia y presencia de joroba o giba respectivamente. La divergencia entre ambas subespecies originada por las migraciones, aunada a otros factores, favoreció el desarrollo de caracteres únicos que se pueden ver a diferentes niveles. Por ejemplo, basándose en respuestas fisiológicas, se ha reportado que razas Cebú tienen umbrales más altos de tolerancia al calor (hasta 5°C más) que animales taurinos, lo cual puede deberse a una mayor densidad de glándulas sudoríparas y a un diámetro mayor de las mismas en los Cebú; asimismo, se sabe que las razas de fondo genético taurino son más susceptibles a enfermedades transmitidas por garrapatas y muestran mayor precocidad para la reproducción y celos más intensos y de mayor duración. Recientemente se ha analizado la secuencia del mtADN y se reportó que ésta difiere únicamente en un solo nucleótido (16,338 y 16,339 respectivamente) pero hay diferencias en 237 posiciones correspondientes a sustituciones nucleotídicas e indels (inserciones/delecciones). Anteriormente, cuando la información genómica no estaba disponible, la relación genética entre los animales se estudiaba a través del análisis

de pedigrí; desafortunadamente esta información no siempre estaba disponible o era incompleta, lo que resultaba en estimaciones de valores genéticos erróneas; ahora, con la disponibilidad de SNP a través de los *análisis de mezcla*, es posible estimar con exactitud la composición de una raza sintética o de una población sin el conocimiento previo de la información genealógica. Un estudio de análisis de mezcla y de componentes principales que incluyó a 134 razas de todo el mundo, mostró que la domesticación, exportación de animales, cruzamientos, y la formación de razas han tenido un tremendo impacto en la variación genética presente dentro y entre las razas de ganado. Se identificó la presencia de cruzamientos entre bovinos domesticados y el uro salvaje africano, que formaron las razas taurinas existentes en África y se demostró la ausencia de material genético *indicus* dentro de la mayoría de las razas taurinas europeas, exceptuando algunas razas italianas. Se comprobó que las razas de ganado en Asia se derivaron de ganado domesticado en India o importados de Europa.

En los últimos años, el uso de los arreglos de SNP de alta densidad, ha permitido la detección de numerosas regiones del genoma, asociadas con la adaptación de los animales a climas tropicales, sin comprometer la productividad de los mismos; entre las características de interés en ganado tropical reconocidas se encuentra: resistencia a garrapata *Rhipicephalus microplus*, susceptibilidad a *M. paratuberculosis*, resistencia a Tripanosomiasis, capa lisa (pelo corto y brillante, característica hereditaria dominante que está altamente asociada con la termotolerancia). Por el corto tiempo de la disponibilidad de la información genómica, en ganado tropical no se ha documentado su uso, pero cabe la posibilidad de hacer uso de sementales de razas puras que sean portadores de genes de interés, sobre todo animales jóvenes seleccionados a partir de sus valores genómicos directos (calculados como la suma de los efectos de los SNP estimados en una población de referencia), que podrían disminuir los intervalos generacionales. En la generación de razas sintéticas, la ventaja de seleccionar animales con base en sus valores genómicos sería aún mayor, ya que tanto hembras como sementales serían seleccionados con un mayor grado de confiabilidad aún al momento de nacer.

El mejoramiento de las especies domésticas ha avanzado conforme han progresado los métodos de selección, entre estos el Modelo Animal, que permite incluso la comparación de animales de varios países a través del Servicio Internacional

de Evaluación de Sementales (INTERBULL), que está manejado por un Comité Directivo que cuenta con 9 miembros de 9 países diferentes y un centro operativo de evaluaciones en Suecia. Debido al éxito de INTERBULL se inició el INTERBEEF o servicio internacional de evaluación genética de ganado de carne. En el 2008, en Europa se puso en marcha el proyecto internacional para la selección genómica (EuroGenomics) con el objetivo de realizar evaluaciones genómicas en países europeos. Las evaluaciones genómicas para la población Holstein de Estados Unidos para las características de leche, grasa y proteína, puntuación de células somáticas (SCS), vida productiva (PL) y tasa de preñez de las hijas (DPR) mostraron que hay reducciones dramáticas en el intervalo generacional; en los padres de sementales se redujo de 7 a menos de 2.5 años, y el de los padres de vacas se redujo de 4 a casi 2.5 años y hubo mayor respuesta a la selección genómica en características con bajas heredabilidades (DPR, PL y SCS). En México, en julio de 2014 se publicaron los primeros resultados de las evaluaciones genómicas para ganado Holstein, en cinco características (producción de leche, grasa y proteína; estas dos últimas en kilogramos y porcentaje); la población Holstein de referencia en México es de aproximadamente 4,200 animales, de los cuales el 95 % son vacas. En el documento se hace una descripción detallada del desarrollo de las evaluaciones genéticas en el país a partir de su inicio en 1974 y se muestran las tendencias genéticas hasta 2012 y las metodologías y variables utilizadas.

En México, existen alrededor de 35 razas productoras de carne, pero sólo en 25 de ellas se han realizado evaluaciones genéticas a nivel nacional. La Asociación Mexicana Simmental Simbrah fue la primera asociación de criadores de registro en realizar una evaluación genética nacional, lo cual logró en el 2001 para la raza Simmental. Actualmente las evaluaciones genéticas están a cargo de tres instituciones universitarias (Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma de Chihuahua, Universidad Autónoma de Nuevo León) e INIFAP. El documento presenta las razas y variables sujetas a evaluación genética en México, las metodologías utilizadas, algunos resultados y las tendencias genéticas. El uso de marcadores genéticos y SNP ha venido cobrando impulso; se han realizado evaluaciones de la calidad de la carne bovina comercial mexicana, utilizando marcadores moleculares del tipo SNP (TG5, CAPN1 316 y 4751, Leptina) asociados a calidad de carne (grasa intramuscular, terneza, y fuerza de corte) y se ha evaluado la frecuencia de marcadores asociados a suavidad de la carne

y marmoleo en ganado de registro de las razas Charolais, Simmental, Simbrah y Brangus Rojo y más recientemente se caracterizaron cinco razas Cebú (Brahman, Gyr, Guzerat, Indubrasil y Sardo Negro).

En cuanto a recursos genéticos criollos, de acuerdo con el Documento Metodológico para el Cálculo del Subíndice de Diversidad Pecuaria en México, hay 10 razas de bovinos Criollos con un inventario de 157,122 cabezas de Criollo de Rodeo en Chihuahua; de las razas locales, sólo la Nukini estaría en riesgo. Para ninguno de los grupos genéticos locales identificados se han hecho estudios de dinámica del tamaño de la población, pero se cuenta con información, detallada en el documento, sobre comportamiento productivo y otras características fenotípicas. Recientemente, se estimó la diversidad genética del Criollo Coreño de tres localidades de Nayarit: El Nayar, La Yesca y Santiago Ixcuintla, usando marcadores SNP en plataforma de alta densidad. Los resultados obtenidos indican que las poblaciones de Criollo Coreño mantienen altos niveles de diversidad genética, y que en la práctica la coancestría molecular estimada indica que la población de El Nayar es diferente de las otras dos, que pueden considerarse como parte de una misma población.

En cuanto al **comportamiento reproductivo** de los bovinos tropicales, la adaptación al ambiente de los genotipos utilizados y mayoritariamente disponibles (*Bos taurus indicus* y sus cruza con *Bos taurus taurus*) implica ciertas desventajas comparado con los genotipos *taurus taurus* explotados en climas templados. Un aspecto de orden no biológico/geográfico que es también característico de la ganadería tropical en México, es la limitada difusión y adopción de las tecnologías de manejo desarrolladas ex profeso para hacer más eficientes sus procesos productivos, entre estos el de la reproducción, que se estima se encuentra en general a un 50 % de su potencial, esto si se considera el porcentaje de vientres paridos por año.

A partir de la discusión/reflexión de un panel de especialistas en reproducción de ganado tropical, inducida como parte de las actividades de estructuración de la REDGATRO, se propusieron como problemas principales que afectan el desempeño reproductivo en la ganadería tropical a: falta de criterios de selección para reemplazos; desconocimiento de patrones de desarrollo sexual en hembras y machos; edad elevada a pubertad y primer parto; anestro posparto prolongado; dificultad para mantener nutrición adecuada durante todas las etapas fisiológicas; desconocimiento de la tasa real de pérdidas embrionarias; no se

aplican programas de manejo reproductivo de sementales; limitada aplicación de métodos para control de estro/ovulación/servicio; deficiente control de enfermedades infecciosas que afectan la reproducción; limitada obtención y sistematización de información asociada a desempeño reproductivo; valores de indicadores de desempeño reproductivo extrapolados de sistemas de producción en climas templados y no necesariamente adecuados a ganadería tropical. Para abordar esta problemática se propuso considerar estrategias de corto/mediano plazos asociadas con la transferencia de tecnología y estrategias de mediano/largo plazos relacionadas con el acopio/análisis y uso estratégico de información de desempeño, y con el establecimiento de líneas estratégicas de investigación que se detallan en el documento.

Los genotipos indicus utilizados en la ganadería tropical representan una subespecie diferente a los genotipos taurus y no solamente razas diferentes, los animales indicus poseen varias características de utilidad para adaptarse al medio ambiente tropical, como es la mayor capacidad para termorregularse, que asociada a una menor tasa metabólica, los hace más resistentes a las temperaturas ambientales altas del trópico. En relación a desempeño reproductivo, considerando los criterios de eficiencia que se aplican en los genotipos taurus en climas templados, es muy común que en los genotipos indicus no se alcancen los valores establecidos como óptimos. Esta condición, en parte se debe a diferencias en la fisiología de algunos procesos reproductivos en los genotipos indicus y a una mayor sensibilidad al efecto negativo de factores como la condición nutricional y la lactación. En contraste, existen diferencias fisiológicas a favor de los genotipos indicus, que los hacen más eficientes como donadores in vivo de ovocitos para la producción in vitro de embriones, o los hacen más resistentes a los efectos negativos de las elevadas temperaturas ambientales sobre la sobrevivencia embrionaria. Las diferencias entre indicus y taurus, son más bien en grado de intensidad o tiempo de presentación de los eventos reproductivos, y no implican cambios en los componentes básicos de su regulación; lo anterior en variables de las hembras como: edad a la pubertad, duración de la gestación, anestro post parto, intensidad y duración del estro, secreción de hormona luteinizante (LH), desarrollo folicular y estacionalidad reproductiva. En el macho: fisiología del eje endocrino reproductivo, función testicular y precocidad.

Las ciencias “ómicas”: genómica, transcriptómica, proteómica, metabólica, tienen gran aplicación

en la investigación de la reproducción animal: con base en el estudio de polimorfismos de nucleótidos simples (SNP) en todo el genoma (GWAS), se determinó que en vaquillas Brahman del norte de Australia el cromosoma 14 presenta una región específica que contiene 32 SNP que están asociados con la edad a primer cuerpo lúteo; un segmento similar del cromosoma 14 de vaquillas cruzadas tiene la mayor proporción de los SNP asociados con el desarrollo corporal, lo que sugiere que esa porción del cromosoma, como el FENK (regulador de GnRH en humanos), *RPS20* y *SNORD54* (moduladores del crecimiento), asocia el desarrollo corporal y puberal de las hembras bovinas tropicales. Con el análisis conjunto de estrategias genómicas (GWAS), transcriptómicas (RNA-Seq) y proteómicas es posible precisar el encendido/apagado de genes, y visualizar rutas fisiológicas involucradas en el inicio de la pubertad. Un tema de amplio interés actual en la investigación genómica es la interacción entre nutrición y genómica (nutrigenómica). Existe documentación amplia que indica que el nivel de alimentación en las vacas durante la gestación ejerce efectos notables en el comportamiento futuro de éstas. Las deficiencias de algunos nutrientes específicos tienen efectos epigenéticos en el embrión, según fue demostrado con la restricción de metionina, vitamina B12 y folato en borregos. En vacas cruzadas, la mayor concentración de SNP asociados con la duración del anestro posparto se localizan en los cromosomas 5 y 16; este último aloja a los genes codificantes de la *Papalsina-2* y del *MTOR* (acrónimo del inglés de mechanistic target of rapamycin), ambos genes involucrados en el crecimiento del esqueleto y mediador de la leptina en la expresión del gen *Kiss1* (regula la secreción de GnRH). Para el caso del macho, el documento presenta un cuadro y su discusión, de regiones cromosómicas asociados con variables importantes para la fertilidad de toros. Se encontró una expresión diferencial de más de 200 genes entre toros de alta y baja fertilidad, y sólo una proporción baja (~8 %) fueron reportados como desconocidos. La mayoría de transcritos están relacionados a procesos de transporte, interacciones entre proteínas, mecanismos de transcripción y modificaciones membranales, procesos necesarios para una adecuada capacitación e interacciones durante la fertilización entre ovocito y espermatozoide. Varios de los transcritos también participan en la regulación del desarrollo y sobrevivencia embrionaria temprana. La expresión diferencial entre toros de alta y baja fertilidad de los transcritos mencionados nos permitiría explorar la posibilidad de predecir la fertilidad a través de ARNm obtenido del eyaculado.

El documento contiene una relación de tecnología disponible que no es utilizada por la mayoría de productores y que mejoraría el desempeño reproductivo actual observado en los hatos; en ella se incluyen: la suplementación alimenticia estratégica en épocas críticas, sincronización del estro y la ovulación con diferentes tratamientos y esquemas de aplicación, control del amamantamiento, establecimiento de épocas de apareamiento, diagnóstico precoz de gestación y el uso de programas de cómputo para facilitar el registro de eventos y desempeño reproductivos. Así mismo, se analiza el desarrollo de las biotecnologías más comunes en reproducción, desde la inseminación hasta la clonación y se describen las técnicas *in vivo* e *in vitro* en uso, y las novedosas para la producción, conservación y transferencia de embriones y para la obtención y criopreservación y sexado de gametos y embriones, con énfasis en lo que ocurre en México. Con vistas al futuro se propone profundizar en el desarrollo de información y tecnología para hacer factible procesos para obtener más de una cría por vaca al año, y hacer comercial la clonación y la ingeniería genética en animales.

En resumen, la investigación científica ha desarrollado tecnologías que logran nuevas formas de producción, la identificación temprana de animales superiores y métodos acelerados de selección y finalmente de transmisión de dichas características a poblaciones animales. Todas las tecnologías mencionadas son ya una realidad, y en un futuro próximo repercutirán en la eficiencia productiva del ganado y seguramente en el manejo de los animales y los ranchos. También es importante tener en cuenta lo rápido que los nuevos descubrimientos pueden ahora ser llevado a la práctica. Durante la escritura del documento del Estado del Arte se informó de la producción *in vitro* de espermatozoides humanos. El grupo de investigación que realizó esta investigación ya había previamente producido espermatozoides de rata y monos. No es exagerado pensar que en un futuro se produzcan espermatozoides de bovinos en forma masiva *in vitro*, y que estos sean de un sexo y características genéticas determinadas para su utilización en inseminación artificial.

En nuestro país, una de las principales limitaciones para la producción de los bovinos en el trópico, son los problemas relacionados a la **salud**, principalmente aquéllos que provocan fallas reproductivas como infertilidad, abortos, momificaciones, partos prematuros, nacimiento de becerros débiles, mortinatos, entre otros; esto

debido al desconocimiento de los aspectos de prevención y control de las mismas.

La parte introductoria del capítulo describe las generalidades de enfermedades producidas por bacterias, virus, rickettsias, protozoarios y parásitos, discutiendo lo que sucede en México con relación a: Brucelosis, Campilobacteriosis Genital Bovina, Leptospirosis, Virus Sincitial Bovino (vSCB), Parainfluenza Tipo III (PI3), Rinotraqueitis Infecciosa Bovina (IBR), Anaplasmosis, algunas parasitosis y los riesgos de Clamidiasis.

Se proponen temas que requieren de un abordaje de ciencia y tecnología para su atención; aquí se incluye para Brucelosis, establecer los factores de virulencia de la bacteria, estudios epidemiológicos basados en serología, bacteriología y técnicas moleculares, y determinar los factores de riesgo para las infecciones de animales y personas. Los programas de vacunación contra el vRSB con vacunas inactivadas y atenuados han sido poco eficientes, asociado a que no existe el aislamiento y la identificación genómica del vRSB que se encuentra circulando. Se ha demostrado que los bovinos que se encuentran en el trópico de México presentan anticuerpos específicos en contra del virus parainfluenza tipo 3, pero aun no se ha realizado la identificación ni aislamiento de dicho agente en esta región, además no se cuenta con técnicas de diagnóstico serológico ni molecular que permitan realizar un estudio epidemiológico. Al existir evidencia de la infección natural del virus, se han implementado estrategias de vacunación como medida preventiva. Estas vacunas son polivalentes para vRSB, IBR y el virus de la diarrea viral bovina, pero se ha observado que no confiere una adecuada respuesta inmune en los becerros. Debido a que en México se reporta una prevalencia del 43 % de IBR, es de vital importancia trabajar en el aislamiento e identificación del genoma viral. Es necesario trabajar en la implementación de programas de vacunación con virus inactivados, atenuados o bien con vacunas a partir de proteínas recombinantes que den paso a la implementación de medidas preventivas viables en la producción del trópico. La clamidiasis bovina representa pérdidas económicas considerables para la ganadería, pero al ser considerada una enfermedad exótica en México, por el momento no es posible la vacunación, ni los laboratorios de diagnóstico de nuestro país cuentan con las técnicas diagnósticas adecuadas; es necesario documentar sin duda su presencia para que reciba la atención que requiere. En México, solamente se han conseguido aislamientos en cabras, en el año 2012 en rebaños del estado de Guanajuato. En casos de abortos en rebaños

caprinos se encontró un 23.1 % de muestras positivas a inclusiones clamidiales durante la infección en las células L929, la PCR mostró un 9.6 % de muestras positivas. El análisis de la secuencia de los productos de amplificación mostraron una homología del 99 % con *C. abortus* cepa A.22, FAS, S26, EBA y VPG. El riesgo más serio es para las personas inmunocomprometidas y en mujeres que están en contacto con animales infectados. La campilobacteriosis es una enfermedad que en nuestro país se consideraba muy importante en los años ochenta, pero lamentablemente se ha dejado de lado la investigación, el diagnóstico, la prevención y el tratamiento, por lo que su frecuencia en los sistemas de producción de bovinos debió aumentar en estos últimos años. En México la campilobacteriosis fue reportada por primera vez en toros en 1965 y en 1975 fue aislada la bacteria por primera vez a partir de lavados prepuciales. En el caso de la anaplasmosis bovina, las vacunas vivas plantean muchos riesgos, incluyendo: (i) la posibilidad de propagación de otros patógenos transmitidos por la sangre, tales como *Babesia* spp., o el virus de la leucemia bovina por mencionar sólo dos; (ii) la dificultad en la estandarización de la dosis vacunal; (iii) el mantenimiento de los animales portadores; (iv) el control de calidad de la producción; y (v) el mantenimiento y el transporte de las vacunas hasta el usuario final, incluyendo la necesidad de una cadena fría. Las vacunas inactivadas basadas en el uso de los cuerpos iniciales o bacterias extraídas son muy efectivas pero, tienen desventajas como: (i) la posible contaminación con antígenos de membrana del eritrocito; (ii) una amplia variación antigénica entre cepas geográficas; (iii) inmunidad de corta duración; y (iv) disminución en la intensidad de los signos clínicos sin evitar la infección, por lo que los animales permanecen como portadores para el resto de sus vidas. Estos son algunos de los retos que se deberán abordar.

El documento presenta la tecnología disponible para esas y otras enfermedades importantes, el grado en que esas tecnologías se aplican, y el posible futuro o modificación de las mismas. Finalmente presenta una revisión de las herramientas actuales para el diagnóstico e identificación de los microorganismos de importancia que afectan a los bovinos en el trópico; se incluyen las técnicas microbiológicas tradicionales mediante aislamientos, multiplicación, tinciones y diferenciación, y además se describen y discuten las técnicas moleculares basadas en: el análisis de ácidos nucleicos que incluyen varios tipos de PCR, hibridación in situ, microarreglos y metagenómica; los basados en el análisis e identificación de proteínas como

son los inmunológicos, inmunohistoquímicos, electroforesis, espectrofotometría y otros; los basados en el análisis de lípidos y carbohidratos y los de espectroscopía RAMAN.

## La participación de los productores en el Sistema

El área de **socioeconomía** forma parte de las ciencias sociales, para el caso de la ganadería tropical; el objeto de investigación son los individuos, los sistemas de producción, los procesos productivos y la sociedad en su conjunto, los productos que se generan son conocimientos, modelos, procesos e información de indicadores económicos y sociales para la toma de decisiones. Esta disciplina está conformada por dos ciencias, la economía y la sociología, por ello los investigadores que realizan investigación son principalmente economistas, sociólogos, antropólogos, especialistas en desarrollo rural, o una combinación de estas profesiones, aunque también se encuentran estudios de veterinarios y zootecnistas. De acuerdo a tres talleres participativos realizados a finales del 2014 por la Red de Ganadería Tropical para detectar su problemática, se concluyó que esta actividad enfrenta una limitada competitividad, por ello, la investigación socioeconómica relacionada involucrará estudios para conocer la problemática y potencial de: a) el productor primario y sus sistemas de producción, b) la agroindustria y la cadena de valor c) los problemas relacionados con aspectos de política pública. A nivel productor, los problemas están referidos a la falta de diagnósticos “confiables” de características y recursos involucrados en las unidades de producción, considerando las diferentes regiones agroecológicas del país; en el ámbito de la cadena agroalimentaria, existe falta de conocimiento del comportamiento del agronegocio actual con enfoque de cadena de valor, tampoco se cuenta con información sobre pronósticos o estudios prospectivos que contribuyan al diseño de políticas de mediano y largo plazo y, a nivel estructural, existe desconocimiento y falta de evaluación de políticas relacionadas con aspectos de transferencia, adopción de tecnologías e innovación en la ganadería tropical, y de aspectos relacionados con la legislación y programas de apoyo a la ganadería.

La ganadería bovina tropical en México se caracteriza por contar con sistemas de producción con menos intensificación tecnológica, asociado a las condiciones agroclimáticas de las regiones tropicales, predominando la utilización de ganado criollo, cebú y sus cruces con ganado especializado en la producción de leche, y cuya fuente de

alimentación es principalmente el pastoreo. Por las características planteadas de este sistema de producción, la FAO lo clasifica como de pastoreo (en México se conoce como de Doble Propósito), dado que una parte importante de la materia seca con que se alimenta a los animales se produce en la unidad de producción, y que las tasas anuales medias de densidad del ganado no superan las diez cabezas por hectárea de tierra agrícola. La actividad bovina en el trópico responde a una producción ganadera de pequeña escala, aunque las unidades de producción son clave para la seguridad alimentaria de los habitantes del trópico; ya sea en términos de provisión y acceso a los alimentos, estabilidad y precios. En términos globales los pequeños productores generan entre el 19 y 12 % de la producción mundial de carne y leche respectivamente, y fijan gran parte de la mano de obra que se ocupa en la actividad agropecuaria del trópico. El sistema de producción predominante en el trópico mexicano es el de doble propósito (DP), el cual ha sido descrito como una variación del sistema mixto agricultura-ganadería, con una parte de pastoreo en praderas nativas y residuos de cultivos en tierras de uso comunal, en el contexto de una producción ganadera multifuncional. Las explotaciones DP muestran elevada capacidad de resiliencia y versatilidad, alto nivel de diversificación y complementariedad con las restantes actividades; estos atributos le permiten al sistema soportar cambios climáticos y económicos como consecuencia de su bajo nivel de inversión. El DP genera ingresos directos y además promueve la sustentabilidad ambiental, a través del uso de los recursos disponibles. El ganado es un activo que favorece la reducción de la vulnerabilidad de la explotación y la pobreza, a través de una estrategia de mínimo costo, aunque con bajos niveles de eficiencia y de innovación tecnológica.

La investigación socioeconómica se ha enfocado principalmente a estudios de caracterización del productor y su unidad de producción, por ello están asociados al avance de la tecnología de la información; esta caracterización ha transitado de estudios descriptivos donde se aplicaban estadísticas básicas, hacia el uso de modelos econométricos y estudios multivariados que demandan mayor cantidad de información y manejo de equipo y software para su análisis. En el caso de la ganadería bovina en México, su comportamiento ha sido abordado desde diferentes escenarios, destacando aquéllos que se refieren a la situación al interior de los diferentes sistemas de producción, tanto de carne como de leche. Destacan los estudios de diagnósticos y marcos de referencia, que han tratado de explicar el estado en que se encuentra la

ganadería en el país desde el punto de vista técnico y socioeconómico. A través de diagnósticos estáticos también se han hecho estudios para estimar la rentabilidad de los ranchos ganaderos; sin embargo, la limitante importante en ello, es la escasa cultura del registro por parte de los productores; pocos son los que llevan registros técnicos y menos aun los que toman datos económicos, lo que ha generado indicadores de rentabilidad en los ranchos de poca confiabilidad. En la revisión de artículos y otros reportes de investigación, la metodología con que se han llevado a cabo las investigaciones, destaca por mucho la encuesta y la aplicación de entrevistas a informantes clave. Otras metodologías utilizadas son los análisis de bases de datos de series de tiempo o bien de información capturada mediante registros principalmente técnicos. Con base en ello se han llegado a definir sistemas de producción para carne, leche y doble propósito. La definición de esos sistemas, ha variado dependiendo de los objetivos que se han planteado las instituciones que realizan el estudio. La clasificación de los sistemas de producción define las características técnicas de su funcionamiento y contribuye al conocimiento de los mismos, permitiendo detectar niveles de producción y productividad, y definir líneas de investigación en el área de alimentación, reproducción, sanidad, genética y manejo general del sistema, mismas que se pueden encontrar en múltiples reportes de resultados de investigación. Sin embargo, a pesar de que se investiga en las disciplinas referidas el estudio aislado de esos sistemas a nivel de producción primaria, no garantiza el crecimiento y desarrollo de la actividad. Se concibe la necesidad de realizar estudios integrales que involucren a variables del contexto como es la comercialización, el mercado, financiamiento y políticas de apoyo a la actividad. Se parte de la necesidad de lograr una integración, desde el proveedor de insumos hasta el consumidor, y detectar los flujos de productos y capital, estableciendo debilidades susceptibles de convertir en fortalezas, mediante la investigación y el diseño de políticas públicas acorde a la problemática detectada. En esta etapa juegan un papel importante las Fundaciones Produce, que financian a través de proyectos de investigación, el desarrollo de las cadenas a nivel nacional.

La investigación del área de socioeconomía con un enfoque de agronegocio y cadena de valor realizada en México, es menor que la realizada a nivel de productor primario. Actualmente existe un equipo de investigación del CIESTAAM de la Universidad Autónoma Chapingo, que se ha enfocado a estudiar la producción de quesos artesanales en México. En el Colegio de Postgraduados se han realizado estudios de mercado, aplicando modelos

econométricos para conocer la respuesta de cambios en precios e ingresos de los consumidores en la oferta y demanda de leche, y se ubicaron estudios con enfoque de cadena agroalimentaria, cuyos resultados son aplicables a un Estado, sin tener un enfoque nacional o por lo menos regional. En este tema también se ubicaron metodologías que evalúan la sustentabilidad de la cadena de valor de leche. De acuerdo a la investigación realizada, se encontró que la industria quesera artesanal se puede clasificar convencionalmente en tres estratos (según el volumen de leche que procese diariamente): pequeña, transforma volúmenes menores a 2,000 L; mediana, procesa entre 2,000 y 20,000 L; gran industria, la que maneja volúmenes superiores a 20,000 L. Otras características identificadas en la literatura sobre la agroindustria lechera son las siguientes: la mayor parte de la producción quesera no se registra, tan sólo en el estado de Chiapas existen alrededor de 600 queserías, pero sólo 109 están censadas por el INEGI. Además, hay otro tipo de unidades productoras que no registran los censos económicos, y son ignoradas en muchos estudios. Se trata de la producción quesera que se realiza directamente por los ganaderos. Sólo en la Sierra de Jalmich existen alrededor de 200 queserías de ese tipo. La gran mayoría de las queserías presentes en zonas tropicales tienen en común ser empresas artesanales de tipo familiar. A pesar de la gran disparidad entre unidades que procesan 100 L cada día y otras que alcanzan 100,000 L, se caracterizan por procesar fundamentalmente leche cruda, y el empleo de una tecnología “básica” (equipos y procesos), con un saber-hacer empírico, mezclando tradición e intuición, e infraestructuras “improvisadas.” A pesar del aumento en la producción, la quesería se ve afectada por la estacionalidad en la producción de leche que aún persiste, lo cual provoca, junto con una infraestructura de comunicación deficiente (carreteras y de medios como celular, fax, computadoras, red, y otros), falta de abasto en la materia prima, fundamentalmente en la época de estiaje. Esto tiene efectos negativos a lo largo de la cadena productiva. Un insuficiente abasto de leche, como ocurre en La Costa de Chiapas, provoca que algunos queseros recurran a proveedores y asesores técnicos que promueven el empleo de sustitutos de la leche natural (v.g. leche descremada en polvo, proteínas lácteas, y grasa vegetal); esto reporta ventajas a los transformadores, al sostener la oferta de quesos y abatir los costos de producción; sin embargo, por estas medidas tecnológicas los quesos artesanales se “desnaturalizan”, pierden su identidad y tipicidad, y entran a competir en el mercado con una lógica industrial, en detrimento de su preservación.

La revisión de la literatura relacionada sobre prospección de ganadería tropical en México, estaca el empleo del método Delphi. La mayor abundancia de información se observó durante el periodo del 2010 al 2015. De acuerdo a la información encontrada, en esta búsqueda del estado del arte de la ganadería bovina tropical, México destaca por sus aportes científicos y técnicos. Para el caso de los documentos internacionales, España muestra un gran desempeño en cuanto a estudios de ganadería bovina en carne. El mayor número de temas motivo de estudio, lo representaron los estudios prospectivos de la leche con 20 documentos, que representaron el 29 %, siguió en orden de importancia el de la carne (10 estudios), que significaron el 14.5 % y los temas que abordaron tanto a la leche como a la carne de manera combinada representaron el 2.9 % del total. Al combinar estos tres temas, su participación porcentual llegó hasta el 46.4 %. Los temas de carácter general, que representaron 39.1 %, se consideraron de interés para una mejor comprensión del método prospectivo Delphi y sus aplicaciones a la ganadería tropical. Con relación al sitio de donde proviene el material bibliográfico, se encontró que la mayor información se obtuvo de centros de investigación nacionales con 39 documentos, en segundo término fueron las universidades extranjeras las que aportaron 9, siguieron en orden de importancia los que desarrollaron los centros de investigación internacionales con 7, posteriormente fueron las empresas privadas extranjeras con una aportación de 5, después con igual número, fueron las universidades nacionales y organismos internacionales, ambas con 3; y finalmente se identificó a 1 dependencia gubernamental extranjera y 2 documentos que no pudieron ser clasificados bajo este rubro. En cuanto a estudios prospectivos fueron 69 los temas que se publicaron, los de la leche fueron los que más aportaron, 29 % del total. Si bien existen numerosos estudios y métodos sobre evaluación del impacto de las inversiones en investigación y tecnologías agropecuarias, y dado que cada vez es mayor la demanda por generar indicadores de impacto e identificar los beneficios de las tecnologías y conocimientos generados, esto ha propiciado que las instituciones de investigación y las que financian la generación de tecnologías destinen recursos para desarrollar proyectos de evaluación de impactos, lo que ha permitido generar indicadores de rentabilidad de las inversiones de algunas tecnologías, principalmente vacunas, pero no se ubicaron estudios relacionados con la evaluación de las tecnologías aplicadas a ganadería tropical en México, por lo que esto se convierte en una necesidad y área de oportunidad para los investigadores del área de socioeconomía

de las instituciones de enseñanza e investigación del país. Los estudios sobre innovación en DP a menudo consideran enfoques especializados y aislados al sistema; la mayor parte de los estudios que visualizan el uso e impacto de tecnologías se han hecho a través de la caracterización del sistema asociado con aspectos socioeconómicos, parámetros productivos, recursos disponibles, entre otros. La caracterización a menudo se realiza mediante el uso de tipologías, usando métodos de análisis de componentes principales y clústeres, y han podido clasificar a las unidades de producción por su dimensión, capacidad económica, capacidad empresarial, orientación productiva y disposición de recursos.

Dentro de los aspectos socioeconómicos de la ganadería mexicana, la investigación en materia fiscal es muy limitada. En la actualidad este aspecto cobra relevancia por las repercusiones que puede representar al sector. La tributación ganadera tiene su origen en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, de la cual emana un conjunto de ordenamientos jurídicos, entre los que sobresale la Ley del Impuesto Sobre la Renta (LISR) y la Resolución Miscelánea Fiscal. Las actividades de ganadería por mucho tiempo fueron consideradas en un régimen fiscal denominado “Bases Especiales de Tributación” (BETS); a través del tiempo el régimen fiscal de bases especiales evolucionó al Régimen Simplificado. Éste surge en 1989 el cual fue opcional en la etapa inicial, convirtiéndose en obligatorio a partir de 1991 para los contribuyentes del sector primario (agricultura, ganadería, pesca y silvicultura) y por muchos años benefició a las actividades ganaderas. Hasta antes de la reforma de 2014 las actividades primarias estaban exentas, y el Régimen Simplificado dejó de ser un régimen fiscal operable para el sector primario, y pasó a formar parte del Régimen General de Ley para tributar en materia del Impuesto Sobre la Renta. El nuevo esquema fiscal llamado Régimen de actividades agrícolas, ganaderas, silvícolas y pesqueras, aunque implica flujo de efectivo, la nueva disposición tiene beneficios acotados respecto al régimen anterior. La exposición de motivos de la autoridad describe que la ley del ISR (LISR) daba ciertos beneficios a contribuyentes que, a criterio de ésta, eran un exceso e iban en contra del principio de recaudación tributaria efectiva, describiendo específicamente al sector primario. La aplicación de estos beneficios generaba inequidad, ya que contribuyentes que obtienen un monto de utilidad igual, al pertenecer a distintos sectores de actividad, enfrentan cargas fiscales diferentes. Según el principio de equidad horizontal establece que los contribuyentes en igualdad de

circunstancias deberían recibir el mismo tratamiento; además, estas medidas –argumentaban– afectan la neutralidad del sistema tributario, toda vez que introducen distorsiones que hacen que la inversión no necesariamente se destine a aquellas actividades en donde resulta más productiva. En este sentido, y con el propósito de contar con un sistema tributario equitativo y eficiente, se propuso eliminar el régimen simplificado, y por ende, los beneficios de exención, tasa reducida y facilidades administrativas, debido a que su permanencia no se justificaba, en la argumentación del recaudador. El documento discute estas modificaciones y las implicaciones que representan para el sistema.

En su parte final este capítulo describe los retos para la investigación socioeconómica en temas de la ganadería tropical, tanto a nivel de la unidad de producción como del entorno de mercado, de las agroindustrias, y para el análisis de las políticas públicas.

En cuanto a las políticas y acciones en torno a la **transferencia de tecnología**, actualmente están promoviéndose nuevas metodologías, las cuales son o han sido notables en cuanto a sus características innovadoras, y a ciertos factores que inciden positivamente para la obtención de los logros esperados. Los productores, como otros actores del desarrollo rural, necesitan mayor acceso a la información, conocimiento y asesoría, y deben vincularse con otros participantes de los mercados agroalimentarios y cadenas de valor; esta es una condición previa para el alivio de la pobreza rural y para que los recursos naturales sean manejados de una manera más sostenible. En el presente capítulo se intenta hacer una reseña de los principales modelos implementados para hacer llegar la tecnología a los productores de bovinos de las regiones tropicales: en primer término, se presentan de manera general los modelos y sus principales características; en segundo lugar, se describen las acciones y programas implementados que se corresponden con los grandes paradigmas y modelos que se han ensayado en el país y, en tercer lugar, se plantean algunas recomendaciones para hacer más efectivas las acciones orientadas a transferir nuevos conocimientos y nuevas tecnologías, que impulsen el desarrollo de la ganadería bovina, y que puedan servir de base para un Programa de Transferencia de Tecnología de la Red de Investigación e Innovación Tecnológica para la Ganadería Tropical (REDGATRO).

Modelo Lineal (difusión de innovaciones), se define como el “sistema de educación no formal que lleva la tecnología generada en las instituciones de investigación y docencia hacia los agricultores, para

aumentar su producción y mejorar sus condiciones de vida.” Se pretende que los productores adopten el mayor número de tecnologías en el menor tiempo posible, y considera cinco pasos básicos para que se efectúe la adopción de la misma: conocimiento, interés, enjuiciamiento, ensayo, y adopción; y los cuatro elementos principales de la teoría son la innovación, los canales de comunicación, el tiempo y el sistema social. Se caracteriza por ser unilateral y vertical, ya que las tecnologías que se generan en las instituciones de investigación se transfieren a los extensionistas, los que a su vez las difunden a los productores. El objetivo último del modelo es el incremento de la producción, sin considerar los diversos problemas que enfrentan los productores, como la incorporación de valor agregado, el acceso a los mercados locales o regionales; o bien aspectos como educación, edad, la familia, y la disponibilidad o acceso a la tierra.

El Modelo Interactivo valora el conocimiento empírico y las prácticas de los productores, se reconoce que la innovación es un proceso interactivo. La eficacia de la innovación depende de la red de actores; el productor tiene un rol activo. Este modelo surge como respuesta al fracaso del Modelo de Difusión de Innovaciones en la promoción del desarrollo rural; es coincidente, también con el surgimiento de innumerables organizaciones no gubernamentales (ONG), que empiezan a trabajar con pequeños productores minifundistas en varios países en desarrollo. El documento detalla varias de las características del Modelo Interactivo, que prevaleció, con distintos matices, en la mayoría de los enfoques utilizados para la transferencia de tecnología en los distintos países hasta fines del siglo pasado.

El Modelo Reflexivo aún está en plena construcción, toma varias partes del modelo anterior. Los efectos negativos de la aplicación de innovaciones son puestos en debate, surgen los temas de calidad, desarrollo sostenible, cambio climático, seguridad alimentaria, cambia la organización de la producción y del conocimiento. Se incluyen las nuevas ciencias y tecnologías (nano-genómica, robótica, cibernética, etc.) y la innovación se concibe como una experimentación colectiva, en donde interactúan múltiples actores sectoriales y otros estamentos de la sociedad.

En América Latina a partir de la década de los 40s las actividades de transferencia de tecnología de las estaciones experimentales de los países latinoamericanos, se realizaban a través de visitas de los agricultores y demostraciones de resultados; en el tiempo, se fueron especializando dentro de los esquemas institucionales de los organismos de

investigación, dando origen a lo que posteriormente se consolidó como extensión agropecuaria. En este entonces, el extensionista era un mensajero de la tecnología y su tarea principal era comunicarla al productor para que éste la asimilara y aplicara. Las estrategias de transferencia de tecnología se basaban en el método de comunicación, como reuniones, días de campo, demostraciones de resultados, cartas circulares y visitas finca a finca; posteriormente el extensionista se fue comprometiendo más con las condiciones sociales del productor, su compromiso le llevó a prestarle ayuda en otros aspectos que se relacionaban con la familia y el crédito. A partir de los setentas, la actividad de transferencia de tecnología se convirtió en un programa de desarrollo social, con líneas de acción en mejoramiento del hogar rural, economía campesina, trabajo de jóvenes y amas de casa, huertas escolares y desarrollo comunal. Fue adquiriendo cada vez más importancia el trabajo en grupo, pasando de “enseñar a hacer” a la de “aprender haciendo”, la comunicación cara a cara, las ayudas audiovisuales, comunicación educativa, medios masivos y trabajo con líderes rurales. El capítulo recopila la información de los principales proyectos, estrategias e instituciones de: Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Brasil, Chile, Venezuela, Bolivia y Argentina.

En México, el Modelo Lineal tiene antecedentes de la década de 1920, cuando el gobierno mexicano a través de 32 extensionistas, considerados como “Agrónomos Regionales”, desempeñó funciones de capacitación. Los extensionistas recorrían en ferrocarril a algunas regiones del país, efectuando demostraciones y exposiciones sobre las nuevas tecnologías e insumos que servían para incrementar la producción. El gobierno de Adolfo Ruiz Cortines (1952 a 1958) argumentando que existían grandes diferencias productivas entre los ganaderos de las distintas regiones del país, y que estas diferencias se debían a que los ganaderos de mediana y pequeña escala no aplicaban tecnología, adoptó el modelo de Desarrollo Rural denominado “Desarrollo Comunitario”, promoviéndolo a través del sistema de extensión oficial, y aplicando la teoría de Difusión de Innovaciones. Posteriormente, El plan “La Chontalpa”, en sus inicios fue concebido como un programa de desarrollo agrícola (inicio de los 70s del siglo XX), donde el gobierno consideró importante el papel que deberían de jugar los productores en el proceso productivo, proponiendo esquemas no verticales en la toma de decisiones de las actividades del campo, y su propuesta de intervención se basó en la teoría de “Educación Popular”. En 1975 el Plan Nacional Hidráulico,

inició actividades del Programa de Desarrollo Rural Integrado para el Trópico Húmedo (PRODERITH), que contó con el apoyo del Banco Mundial y de la FAO. En los aspectos de comunicación para el desarrollo, creó un sistema de comunicación rural para, así, lograr el consenso de las comunidades locales sobre las acciones de desarrollo que se debían de realizar. La metodología pretendía uniformizar y agilizar las operaciones crediticias, induciendo el uso de “mejores tecnologías” para la producción, mediante la asistencia técnica y el crédito supervisado, auspiciando el fomento de la investigación científica y tecnológica en el sector rural. Las acciones y el resultado del PRODERITH en su tiempo se consideraron un éxito, sin embargo terminaron los apoyos (económicos, de asesoría, de asistencia técnica, etc.), y se esfumaron los logros, es decir el programa no fue adoptado por los usuarios. La banca oficial, como el Banco Nacional de Crédito Rural (BANRURAL), desde 1976 y hasta 1988 prestó servicios complementarios al crédito, con el propósito de garantizar su mejor utilización entre los beneficiarios. Se estableció que los productores deberían de contar con el servicio de asistencia técnica, utilizando tecnología de punta, esperando mejorar la producción y productividad. Entre 1982 y 1988 se generaron los Distritos de Desarrollo Rural (DDR), a donde se asignaron extensionistas, siendo las Delegaciones Estatales de la Secretaría de Agricultura las encargadas de administrar a los extensionistas y a los servicios de extensión en los distintos estados de la República Mexicana. En este periodo continuaron los programas de extensión multifunción. Los DDR cumplían con el servicio de extensión, promoviendo tecnología pecuaria generada principalmente por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), utilizando la teoría de difusión de innovaciones. Desde 1990, y hasta 1995, y como parte del adelgazamiento institucional, se llevó a cabo la descentralización del personal de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), de tal suerte que intendentes, choferes, secretarías, personal administrativo, y otro tipo de personal, fueron radicados en los DDR. Los jefes de distrito como contaban con pocos extensionistas, decidieron capacitar a este tipo de personal para que “laboran” como “extensionistas”, y como consecuencia de eso, el tipo de asistencia técnica que brindaban fue (en general) de baja calidad y a tiempo parcial. La asistencia técnica oficial (gratuita), se dio mediante el Proyecto de Investigación y Extensión Agropecuario y Forestal (PIEX), que atendía a los productores de bajo potencial productivo en zonas temporales y del trópico húmedo, con el propósito de influir en un cambio tecnológico de cultivos y animales, que

permitiría a los productores elevar sus condiciones de vida y articularse de una manera más eficiente a la economía de mercado, algo que a la larga no resultó cierto. Por otro lado, el esquema de asistencia técnica “privada” no sólo era obligatorio, sino que además fue selectivo, ya que sólo recibían asistencia técnica los campesinos y agricultores que utilizaran crédito (alrededor del 20 % del total). La Banca de segundo piso, como las de los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), y el BANRURAL, otorgaban créditos agropecuarios y forestales exclusivamente a los productores que contrataran el servicio correspondiente. A partir de 1993, el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) financió acciones de asistencia técnica, reembolsando a los productores el 80 % del pago del extensionista particular, quien era contratado por los propios productores. En 1996 la política agropecuaria a través de la “Alianza para el Campo”, puso un especial énfasis en “incrementar la productividad” de los distintos subsectores del agro, y uno de los instrumentos en que se apoyó fue en facilitar a los productores el acceso a las nuevas tecnologías disponibles, a través del subsidio del servicio de asistencia técnica. En ese entonces se estableció el Sistema Nacional de Capacitación y Extensión (SINDER) y el Programa Elemental de Asistencia Técnica (PEAT). Bajo el paradigma del “Desarrollo Rural Sustentable (DRS)”, en 1996, la Alianza para el Campo estableció los programas de Fomento Ganadero y de Desarrollo Rural con apoyos que complementan las inversiones de los productores, y grupos prioritarios (hasta el 50 % del total de la inversión), incluido el pago del servicio de asistencia técnica.

El modelo de “Grupos Ganaderos Para la Validación y Transferencia de Tecnología” (GGAVATT), es la organización de 10 a 15 productores, cuyos ranchos tienen características y propósitos de producción similares, los cuales, reciben asesoría técnica profesional, respaldada por instituciones de investigación. El grupo cuenta con un “Módulo de validación”, donde se demuestran las tecnologías propuestas para solucionar problemas específicos de la ganadería. El grupo de productores, son una organización formal, con acta constitutiva mediante asamblea, donde quedan establecidos los compromisos. El modelo GGAVATT en México, tiene antecedentes históricos que se remontan a 1970, año en que se inició la validación de tecnología generada en el Campo Experimental “La posta”, de Paso del Toro, Veracruz, perteneciente al entonces INIP (Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias), en el rancho “Bella Esperanza” de Tepetzintla, Ver. En 1983, evolucionó a PROGATEP (Programa Ganadero Tepetzintla) con un grupo

de 28 ganaderos, que obtuvieron resultados satisfactorios durante 1983-1989, lo cual propició la formación de otros cinco programas similares: Jamapa, Joachin, Tres Valles, Jilguero y Porcino Jarocho; sentando las bases para el nacimiento del GGAVATT.

A partir de 1996, se inicia la etapa de consolidación del modelo, partiendo de la sistematización de la información sobre la metodología a la capacitación a capacitadores, respaldo institucional con la formación del PRONAVAT (Programa Nacional de Validación y Transferencia de Tecnología) del INIFAP, se conforman y operan GGAVATT en todo los estados del país a través de proyectos estatales de validación y transferencia de tecnología pecuaria, financiados por la fundaciones produce locales. En 2008, el GGAVATT obtiene el reconocimiento nacional por parte de la CGG (Coordinación General de Ganadería) de la SAGARPA, como el modelo de transferencia de tecnología a través de la UTEP (Unidad Técnica Especializada Pecuaria) del INIFAP, quien diseñó y estableció la estrategia en todo el país, brindó durante el periodo 2008-2103, el soporte tecnológico, el seguimiento y la capacitación a los Prestadores de Servicios Profesionales Pecuarios (PSPP), contratados por los grupos de productores, asociados al Programa de Desarrollo de Capacidades, Innovación Tecnológica y Extensionismo Rural.

El Sistema Reflexivo reconoce que los sistemas de investigación y transferencia de tecnología en el sector agroalimentario viven un proceso de cambio gradual hacia sistemas de innovación basados en procesos interactivos. Sus resultados dependen de las relaciones entre diferentes empresas, organizaciones y sectores, así como de comportamientos institucionales para atender la demanda de los productores y dar solución a los problemas de pobreza, baja competitividad y sustentabilidad amenazada. Es necesario conformar una triada Universidad-Empresa-Estado; bajo este esquema, el Estado acompaña el comportamiento de las universidades y empresas dirigiendo las relaciones entre ellas, y puede asumirse que está influida por una visión estatista, centralista, socialista de la sociedad en que se asigna un rol preponderante al Estado. Esta versión del modelo se ha dado en llamar modelo de triple hélice. Es imprescindible además, avanzar hacia modelos institucionales de complementación entre las instituciones públicas y privadas, y en donde la descentralización operativa y la participación organizada de los productores, incluyendo productores familiares y campesinos en

la orientación de las demandas tecnológicas, se incorpore al esquema institucional de investigación para la agricultura.

El capítulo de transferencia del Estado del Arte describe varios modelos que se han utilizado por los diferentes niveles de gobierno hasta la fecha.

Es evidente que se requiere mejorar los procesos de transferencia de tecnología a través del diseño y adecuación de nuevos modelos; ello demanda realizar investigación en procesos de transferencia y de conocer las demandas específicas de los PSP, productores, organizaciones de productores, agroindustria y de Instituciones y organizaciones públicas y privadas de apoyo y fomento al sector rural del país. Los PSP que trabajan en EyAT, demandan de los centros de investigación, principalmente del INIFAP, diversos apoyos. En mayor o menor medida, la REDGATRO debe orientar sus esfuerzos a establecer acciones orientadas a satisfacer las demandas y requerimientos de información tecnológica y servicios demandados por las instancias públicas y privadas y por los profesionales que trabajan directamente con los productores rurales. Se requiere dedicar esfuerzo a la vinculación con los actores del sector agropecuario, para captar las demandas de innovaciones tecnológicas y de conocimientos. La tecnología por sí misma será insuficiente si no es acompañada con un diagnóstico de necesidades del usuario final, y el desarrollo de capacidades de los actores que la requieren. La REDGATRO puede aprovechar la infraestructura de cobertura nacional y el capital humano de sus investigadores agremiados, para llevar a cabo un programa de formación a formadores en las diferentes áreas de la ganadería bovina tropical, y con ello generar procesos de capacitación en el uso de innovaciones tecnológicas.

Lo anterior representa un enorme reto; en principio se necesita un cambio de visión respecto al enfoque de la investigación hacia la transferencia de tecnología y el extensionismo; no debe subestimarse la importancia de este tipo de investigación y debe dejar de considerarse como una "investigación de segundo nivel"; de hecho esto es lo que justifica la generación de investigación básica, que en el mediano y largo plazos podrá ser transferida a los usuarios finales. La transferencia de tecnología tiene la particularidad de crear vínculos fuertes entre la investigación básica y el usuario final y demás actores de un sistema nacional de innovación. En el mismo sentido, no basta seguir con la escalada de producción científica empujada

únicamente desde la oferta institucional, generando investigación e innovaciones que difícilmente llegan a los beneficiarios finales, entre otras cosas, por una falta de estrategias pertinentes de “extensión y transferencia de tecnología” para los distintos usuarios y regiones del país.

# CAPITULO I

38 )

CAPITULO I

## RECURSOS NATURALES Y USO DE LAS TIERRAS GANADERAS EN EL TRÓPICO

Carlos González-Rebeles I.

Tania Gómez Fuentes Galindo

Francisco A. Galindo Maldonado

### I.1 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA INFLUENCIA DE LA GANADERÍA BOVINA SOBRE EL AMBIENTE

Como se ha mencionado en otras secciones de este documento, la ganadería es una actividad redituable y necesaria para cubrir la creciente demanda de proteína de origen animal, que según la FAO se va a incrementar incluso al doble para el 2050. Se estima que para esa misma época México tendrá un tamaño poblacional de 150'837,517 habitantes y en consecuencia un gran reto para cubrir la demanda en producción de alimentos.

La ganadería bovina (tanto en los sistemas no estabulados o extensivos, como en los estabulados o intensivos) se ha ido tecnificando e industrializando más cada vez para poder hacer frente, de manera eficaz, a la creciente demanda de productos por parte de la población humana en continua expansión. No obstante, el modelo se fundamenta en el manejo de recursos biológicos y, como ocurre en cualquier esquema de manipulación y uso de recursos, se encuentra asociado a un efecto sobre el ambiente. Las formas de producción estabulada concentran en espacios reducidos grandes cantidades de animales y consecuentemente desechos en exceso. Se transforman además, extensas áreas para la producción de alimento animal (forraje y granos). La producción no estabulada promueve en ocasiones el sobrepastoreo de comunidades vegetales nativas e incluso se recurre al desmonte para inducir pasturas exóticas.

En México, la ganadería se fundamenta en la utilización del forraje en agostaderos, esquilmos agrícolas, praderas cultivadas, así como en los cultivos forrajeros. Se estima que el 29.3 % del forraje es producido en agostadero, el 41.9 % en praderas, el 4.9 % por cultivos forrajeros y

el 23.9 %, a partir de esquilmos agrícolas. Las praderas inducidas cuentan con buena aceptación en los ranchos ganaderos más tecnificados, por la calidad, cantidad, corto tiempo de establecimiento y buena aceptación por el ganado de los forrajes seleccionados, pero con la dificultad de adaptación en ciertos climas y suelos. No obstante la forma más común y económica de alimentar al ganado es a partir del pastoreo de vegetación natural de los agostaderos.

Se considera que la ganadería bovina bajo pastoreo está asociada en mayor o menor grado con la transformación de todos los ecosistemas del país. Para el 2007 la distribución de la vegetación primaria potencial disminuyó en un 55 %. En particular, a partir de los años 80s cuando la ganadería recibió un gran impulso, a través de diferentes tipos de subsidios e inversiones públicas, y en especial por financiamiento internacional (Banco Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo).

El mayor impacto lo ha sufrido el bioma de selva tropical, donde la producción pecuaria se ha asociado directamente con la transformación del bosque. Ecosistemas tan frágiles y amenazados por su distribución restringida y altamente fragmentada como el bosque de niebla, se han ido abriendo a la agricultura y pastoreo en los últimos años. De una superficie original, estimada en 3 millones ha en el país (1.5 % de la superficie nacional), para el año de 2007 se redujo a 1.35 millones, de los cuales el 37 % es vegetación secundaria. La selva húmeda con una superficie potencial de 17.8 millones ha, para el 2007 se redujo a 9.2 millones de los cuales el 67.4 % es vegetación secundaria.

El principal impacto ha sido la agricultura y la conversión a potreros para el ganado. Esto es un problema de consideración especial, ya que dichos ecosistemas cuentan con relevancia biológica a nivel internacional. Son comunidades con la mayor riqueza de especies (flora y fauna) en el país, y se caracterizan por presentar la mayor cantidad de especies endémicas en contraste con ecosistemas similares de otras regiones del mundo.

La selva subhúmeda ha estado sujeta a un pastoreo extensivo de la vegetación nativa con cargas animales por lo general altas. De 28 millones de hectáreas, en el mismo período se redujo a 15.6 millones (conteniendo el 58.3 % de vegetación secundaria). La selva espinosa se ha reducido a sólo 16.4 % (710,000 ha) de su superficie original (4.3 millones ha), de lo cual el 95 % ya es vegetación secundaria. Este tipo de bosques tropicales caducifolios, a pesar de ser menos biodiversos que los húmedos, tienen gran relevancia biológica por los endemismos de flora que contienen, su historia de impacto antropogénico (e.g., cultura Maya) y ser los más amenazados por las altas tasas de deforestación (e.g., bosques de la costa del Pacífico); asimismo con tasas de recuperación muy bajas.

En síntesis, la remoción de la cubierta de la vegetación natural, el sembrado de especies vegetales exóticas en conjunto con la aplicación de fertilizantes y herbicidas para mantener estos sistemas extensivos de monocultivo, se traduce en una pérdida de servicios ambientales (por ejemplo, reducción en la capacidad de captura de carbono; afectación de la calidad y disponibilidad de agua; incremento de la erosión del suelo; y en conjunto la afectación de procesos evolutivos), ya que al simplificarse la biodiversidad y el afectar su estructura y procesos asociados pierde su funcionalidad el ecosistema.

En ciertas condiciones y bajo controles específicos, se considera al pastoreo extensivo como un sistema cerrado, donde los productos de desecho (abono) son re-utilizados por el ecosistema sin presentar una carga ambiental en este contexto (en contraste con el problema de concentración de desechos de los sistemas estabulados-industrializados). No obstante, si no se controla la carga animal y el tiempo de pastoreo, se generan impactos de degradación del suelo y afectación a la diversidad biológica. Por ejemplo: se contribuye a la desaparición de especies vegetales nativas más nutritivas y palatables (decrementadoras) contra la dominancia de especies de menor valor forrajero e invasoras; la compactación y erosión del suelo; así como una pérdida de materia orgánica, disminución

de la fertilidad y capacidad de infiltración de agua del suelo. La reversibilidad de los impactos depende del tipo de ecosistema, por ejemplo, la regeneración del bosque tropical lluvioso requiere 100 años.

Otro tipo de impacto ambiental asociado con la ganadería, es su contribución a la emisión de gases con efecto invernadero (GEI). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ha estimado que la ganadería origina el 14.5 % de GEI emitidos por actividades antropogénicas en el planeta. En México, se calcula que el metano por fermentación entérica alcanza un 5 % de dicho total en el país.

Recientemente se ha publicado un análisis muy completo y con fundamento científico, donde se evidencian problemas de degradación del suelo, cambio climático, contaminación del aire, agotamiento y contaminación de fuentes de agua, así como la pérdida de la biodiversidad, por una interacción directa o indirecta con las actividades ganaderas. Y se hace un llamado a la comunidad científica para que se tomen medidas de mitigación a través del desarrollo de enfoques diferentes de producción.

## **I.2 LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES COMO OPCIONES AMBIENTALMENTE SOSTENIBLES DE PRODUCCIÓN**

En respuesta a los efectos negativos asociados con las actividades de la ganadería bovina en pastoreo; se ha considerado prioritario el fomentar una “reconversión” ambientalmente sostenible de la ganadería, como una estrategia de formas de producción diferente que limite la transformación de ecosistemas y mantenga servicios ambientales. Incorporando a las actividades de manejo zootécnico, principios como: la diversificación de los animales domésticos en producción, alimentación combinando el uso de especies vegetales nativas y cultivadas exóticas, controlando carga animal de acuerdo al potencial de ecosistemas, mitigación de impactos negativos sobre los suelos, integración con otros sistemas de producción a nivel local y regional, entre otros. Muchas especies silvestres llegan a sobrevivir en paisajes bajo estas formas de producción no convencional, permitiendo además la conservación de características básicas de estructura y función en dichos agroecosistemas; y consecuentemente mayor proporción de servicios ambientales que las formas de producción convencional (monocultivos).

Uno de los enfoques no convencionales de producción desarrollados con mayor éxito, son los sistemas de producción silvopastoriles (SSP), con sus respectivas variaciones y combinaciones (por ejemplo, agroforestales, agropastoriles, agrosilvopastoriles). Estos sistemas combinan policultivos agrícolas, aprovechamiento forestal y manejo del ganado bajo enfoques que promueven mayor complejidad estructural en potreros, a través de cercas vivas, callejones, mantenimiento de árboles en potreros, bancos de proteína y energía (manejo de parcelas de árboles, arbustivos y leguminosas forrajeras), pastoreo de vegetación secundaria y huertos, combinación de especies herbívoras domésticas en pastoreo, entre muchas otras técnicas de manejo. Estos sistemas varían entre los extremos de un pastoreo de la vegetación secundaria, en plantaciones forestales y frutales, hasta sistemas tecnificados de alta densidad con especies de leguminosas y gramíneas mejoradas.

## 1.2.1 CONTRIBUCIÓN AMBIENTAL

Los SSP al fomentar agostaderos con vegetación heterogénea (e.g, fragmentos de bosque, zonas riparias forestadas, cercos vivos y permanencia de arbustivas o arbóreas en los potreros), favorecen una mayor provisión de servicios ambientales en contraste con los modelos de monocultivo.

La presencia de arbóreas y arbustivas y sus raíces profundas mantienen una mejor estructura de suelo y consecuentemente una gran diversidad de invertebrados y microorganismos del suelo, que en pasturas de monocultivo. Asimismo, se reduce el lixiviado de nutrientes hacia el manto freático.

La presencia de arbustivas y árboles proporciona cubierta para una mayor diversidad de herpetofauna, aves y mamíferos, así como invertebrados del suelo, en contraste con los sistemas de monocultivo.

En un estudio con cuatro SSP en Colombia se registraron tres veces más especies de aves que en otros agostaderos sin árboles en la región. En otro estudio, reportaron 24 especies de aves en pasturas sin árboles, 51 especies en un área forestada y 75 especies en un SSP. También en Colombia, se han registrado incrementos de más del 30 % de especies de hormigas cuando se combinan gramíneas con *Leucaena*, aunque el factor más importante en su abundancia fue la presencia de árboles grandes.

El incremento en biodiversidad favorece la presencia de depredadores (e.g., insectos y aves), para algunas especies indeseables como las garrapatas, disminuyendo su densidad y consecuentemente la

transmisión de enfermedades. La implementación de SSP en el Valle del Cauca, Colombia; junto con una estrategia de manejo integral contra garrapatas, bajó la incidencia de anaplasmosis de 25 al 5 %. En la región de Cesar del mismo país, donde rutinariamente se realizaban controles químicos contra garrapata cada tres semanas, se observó que ranchos con sistemas de producción ganadera en monocultivo que cambiaron a SSP, abandonaron dicha práctica.

En los SSP, la vegetación secundaria (herbáceas, arbustivas y arbóreas nativas; incluyendo árboles con interés económico) interactúan con las especies forrajeras y los animales de manera integral. De esta forma, incrementan la biodiversidad y fomentan una conectividad entre fragmentos de vegetación primaria. Por las mismas razones, se incrementa su potencial para fijar cantidades significativas de carbono al suelo y en la fitomasa, y para favorecer la infiltración de agua. Asimismo, llegan a optimizar procesos biológicos como la fotosíntesis, la fijación de nitrógeno, la solubilidad del fósforo y el mejorar la actividad biológica del suelo, reduciendo el uso de insumos.

Se ha observado que en suelos de tipo espodosol de Florida había mayor retención de nutrientes en la vegetación bajo un SSP, que en pasturas adyacentes convencionales. Se ha reportado que especies como la *Leucaena leucocephala*, junto con otras especies arbustivas y arbóreas como el aile rojo *Alnus rubrus* son eficaces para fijar nitrógeno en el suelo. Al utilizar especies vegetales fijadoras de nitrógeno evita el uso de fertilización química. Se ha observado, asimismo mayor retención de calcio y fósforo, cuando se aplica abono orgánico.

## 1.2.2 CONTRIBUCIÓN A LA PRODUCTIVIDAD

Los SSP tecnificados de alta densidad combinan leguminosas arbustivas o arbóreas nativas o exóticas mejoradas (en particular, *Leucaena leucocephala*) en densidades altas (por ejemplo, alrededor de 10,000 plantas/ha) con gramíneas exóticas mejoradas, y en ocasiones también manteniendo vegetación secundaria. Se ha reportado que estos modelos pueden incluso aumentar la producción de leche y de carne por hectárea al año, en comparación con los agostaderos de monocultivo.

Algunos investigadores reportaron con ganado de doble propósito incrementos en la ganancia de peso diario (200 %), aumento en la producción diaria de leche (84 %), aumento en el número de cabezas por hectárea de los agostaderos (75 %),

acortamiento de intervalos entre partos (-25 %), así como aumento en las tasas de parición (34 %) y de peso en animales finalizados (12 %), en SSP tecnificados, comparados con sistemas de pastoreo no tecnificado. En Colombia, registraron ventajas considerables de productividad y calidad del forraje en SSP tecnificado con agostadero mixto (*Leucaena leucocephala* - *Cynodon plectostachyus*) en comparación con un sistema convencional de monocultivo (i.e., incrementos del 271 % en producción de materia seca, 64 % en proteína cruda y 23 % en energía metabolizable).

Evaluaciones de la producción de leche bajo este tipo de modelos en Sudamérica mostraron también resultados positivos (4.13 kg/día en contraste con 3.5 kg/día en monocultivo); conforme aumentaba la densidad de ganado se observó un incremento de 4 a 5 veces en el SSP. Se ha reportado una producción de 12.8 L/vaca/día bajo una dieta de pastizal de *Pennisetum clandestinum*, mientras que si se les permitía consumir hojas del árbol *Alnus acuminata*, la producción de leche fue de 14.4 L/vaca/día. Resultados similares se registraron para estos SSP tecnificados en el trópico húmedo de México.

### 1.2.3 REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Algunos investigadores mencionan que los SSP reducen la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Estos autores compararon un sistema convencional de pastoreo extensivo, un sistema con pasturas mejoradas sin cubierta vegetal y un SSP tecnificado; y registraron respectivamente: 67.5, 182.5 y 821.3 kg (peso vivo) de carne/ha/año; 229.5, 208.2 y 127.9 emisiones de metano/tonelada de carne; y 14.8, 5.5 y 1.2 ha en promedio para producir una tonelada de carne. Un estudio similar mostró que la productividad de SSP tecnificados fue 12 veces mayor que en el sistema extensivo y 4.5 veces mayor que en sistemas mejorados; las emisiones de metano fueron menores (6.8 y 2.8, respectivamente), por lo que concluyeron que la emisión de GEI en estos sistemas tecnificados es 1.8 veces menor que en el pastoreo extensivo. Algunos investigadores mencionan que la producción bovina en potreros con vegetación heterogénea y mayor complejidad estructural, la producción de carne es más eficaz por unidad de área, y por lo mismo puede resultar en menores emisiones de GEI a nivel global.

Con relación a la captura de carbono por la cubierta forestal, se ha registrado que en un SSP utilizando álamos híbridos (*Populus* spp.) en alta densidad

(111 árboles ha<sup>-1</sup>, que el potencial de captura neta anual podría ser tan alta como 2.7 toneladas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que en sistemas de monocultivo podría ser menor que 1.0 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>; por lo que concluyó que los SSP con especies de árboles de rápido crecimiento pueden secuestrar entre 2 y 3 veces más carbono que los sistemas de pasturas en monocultivo.

### 1.2.4 BIENESTAR ANIMAL

Se ha observado que en sistemas con mayor cubierta arborea, el ganado incrementa el tiempo de pastoreo y rumia en comparación con los sistemas con menor cobertura, fomentando una alimentación más eficiente. Por otro lado la sombra generada reduce el riesgo de sobre-calentamiento; asimismo con la presencia de árboles y arbustos se reduce la ansiedad y el estrés del ganado, probablemente debido a la mayor cobertura. En México, al aplicar los indicadores de bienestar recomendados, se demostró de manera cuantitativa que el ganado en pasturas con mayor densidad arborea es más tranquilo y menos afectado por la presencia humana que en potreros con menor cobertura; asimismo se registraron menos individuos con condición corporal pobre y menos interacciones agonísticas bajo el sistema de pastoreo bajo sombra, probablemente como resultado a una mejor cohesión de grupos entre el ganado.

## 1.3 CONOCIMIENTO DE ESPECIES ARBUSTIVAS Y ARBÓREAS CON POTENCIAL FORRAJERO PARA LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL

Varias especies de *Leucaena* son utilizadas en los SSP para complementar la alimentación con gramíneas. La *L. leucocephala*, originaria de Yucatán, ha sido seleccionada y mejorada para su aprovechamiento ganadero en Australia, y ha sido utilizada por más de 30 años en el norte de ese país. Como variedad mejorada se cultiva en particular en los SSP tecnificados de alta densidad, y es también utilizada en otros países como África, Cuba y México. Es una especie muy palatable, fijadora de nitrógeno, tolerante a la sequía y con un crecimiento rápido en zonas tropicales. En la región tropical de Colombia la *Leucaena* se llega a plantar a densidades de 10,000 a 30,000 mil arbustos por hectárea, en combinación con varias gramíneas: *Cynodon plectostachyus*, *Cyperus rotundus*, *Dicanthium aristatum*, *Panicum maximum* y *Botriochloa pertusa*. En Michoacán, México, se combina con praderas de: *Cynodon plectostachyus*

and *Panicum maximum* junto con el mango tree *Mangifera*. Otras especies arbustivas forrajeras también cultivadas en densidades altas son el marango *Moringa oleifolia* del Himalaya, que en Nicaragua se cultiva en una densidad de un millón de plantas/ha.

Asimismo, hay una infinidad de especies arbóreas nativas que se han reportado con un potencial forrajero. Por ejemplo en Costa Rica se reportan más de 100 especies, entre las más utilizadas están el guayacán *Tabebuia rosea*, el guácimo *Guzuma ulmifolia*, el laurel *Cordia alliodora* y la palma coyol *Acrocomia vinifera*. Se ha formulado una revisión de las especies arbóreas utilizadas en Centro y Sudamérica, así como en el caso de México.

## I.4 OTRAS FORMAS DE PRODUCCIÓN NO CONVENCIONAL QUE BRINDAN OPORTUNIDADES DE INTEGRACIÓN CON UNA PRODUCCIÓN BOVINA TROPICAL AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE

La agroecología es una nueva visión, para la producción de alimentos de origen vegetal, que ha permitido enfoques novedosos de producción ambientalmente sostenibles, siguiendo principios básicos de conservación (e.g., policultivo de diferentes variedades domésticas, incluso especies silvestres con potencial productivo, labranza mínima para fomentar diversidad y cobertura del suelo, uso de cama vegetal, modelos agroforestales, entre muchos otros más). Varios de estos enfoques promueven la producción en combinación de especies pecuarias en pastoreo. Bajo este modelo agrícola se ha logrado rehabilitar terrenos previamente transformados por un monocultivo.

La mayoría de estos modelos se originan en el rescate de prácticas tradicionales de uso de recursos y producción agropecuaria. Un ejemplo son los sistemas agroforestales tradicionales, como los bosques manejados de la cultura Maya en Mesoamérica, quienes combinaban el policultivo de vegetales domesticados y especies silvestres con el fomento de árboles nativos útiles, bajo variados enfoques de manejo (e.g., roza-tumba-quema; terraceo y campos elevados en zonas inundables; clareos selectivos y arboricultura; entre otros), manteniendo un mosaico diverso de diferentes estados de sucesión vegetal entre zonas de vegetación primaria; donde se presenta una discusión de diferentes enfoques modelos integrales de agricultura-ganadería tradicional y referencias para estudios de caso de México y Latinoamérica;

para estudios de caso a nivel internacional se puede consultar literatura. Un ejemplo más actual serían las plantaciones tradicionales de café de sombra, donde sobreviven gran diversidad de invertebrados y vertebrados silvestres, gracias a que el cultivo se realiza bajo la sombra de gran variedad de árboles nativos (y en ocasiones otros frutales domésticos) que proporcionan diversidad de composición y estructura al agroecosistema, en contraste con los modernos sistemas de monocultivo de variedades “mejoradas” de café cultivadas bajo sol. En este caso la integración con ganadería incluye el pastoreo de ovinos principalmente, sin embargo también se llegan a utilizar bovinos.

Inclusive las formas de producción agrícola y ganadera orgánicas, cada vez incluyen más estándares enfocados directamente a fomentar una conservación de la biodiversidad.

Finalmente, un modelo que incluye el aprovechamiento de vida silvestre es el conocido como la “ganadería diversificada” que combina un pastoreo extensivo del ganado con áreas reservadas al mejoramiento del hábitat del venado cola-blanca (*Odocoileus virginianus*), para su aprovechamiento cinegético; y en ocasiones también otras especies, como: gallináceas silvestres (Género Galliformes), varias especies de palomas (Familia *Columbidae*), pecarí de collar y de labios blancos (*Tayassu tajacu* y *T. pecari*, respectivamente), entre otras. El modelo, se ha aplicado con éxito en varios ranchos ganaderos del norte de México, aunque también se ha aplicado en las zonas tropicales, en particular en los ejidos, donde se involucra además otras formas de cosecha no cinegética de especies nativas de flora y fauna, e incluso aprovechamientos no extractivos en combinación con el pastoreo de la vegetación nativa por ganado.

## I.5 CONSIDERACIONES FINALES

Resulta prioritario, confrontar los efectos negativos de la ganadería bovina, de manera que se puedan mantener niveles competitivos de producción para cubrir la creciente demanda de alimentos, pero considerando la necesidad de optimizar los servicios ambientales. Los modelos de producción ambientalmente sustentables, como los antes mencionados, son alternativas apropiadas para la ganadería bovina en el trópico, al fundamentarse en principios de manejo zootécnico que incrementan y mantienen la biodiversidad, favorecen la captura de carbono, mejoran el bienestar animal y producen alimento. La investigación en estos rubros debe enfocarse a integrar estos principios en una estrategia regional, que ponga en balance

la transacción de ganancias y pérdidas entre productividad y servicios ambientales, y además incorpore criterios socioeconómicos.

La visión moderna para los modelos de producción pecuaria y agrícola debería considerarse en el contexto del ecosistema. Es decir, como una estrategia integral de manejo zootécnico de formas no-convencionales (y ambientalmente sostenibles) de producción agropecuaria, donde la planeación y ejecución de acciones para producir alimento, se visualicen y planteen de manera combinada con otras formas de aprovechamiento racional de recursos naturales (formas flora y fauna silvestres). Lo anterior a manera de complemento e inclusive como alternativa para algunas formas de producción agropecuaria convencionales tecnificadas (donde su productividad se optimice, con objeto de controlar la expansión de la frontera agropecuaria industrializada a costa de áreas silvestres remanentes). De la misma manera, es preciso incorporar para estas últimas, las medidas de control y mitigación apropiadas al impacto que generen. Incluyendo asimismo, otros usos del suelo no extractivos y actividades enfocadas directamente a la protección estricta de la biodiversidad. Estrategia enfocada a nivel de paisaje, para fomentar un mosaico diversificado de usos del suelo en el agroecosistema, donde se vincule la optimización de producción junto con la provisión de servicios ambientales; proporcionando conectividad y amortiguamiento a los fragmentos remanentes de áreas silvestres.

## 1.6 LITERATURA CONSULTADA

- Amend T, Brown J, Kothari A, Phillips A and Stolton S. editors. Protected Landscapes and Agrobiodiversity Values. Volume 1 in the series, Protected Landscapes and Seascapes. Kasperek Verlag, Heidelberg: IUCN & GTZ, 2008.
- Améndola R., Castillo E., Arturo P. 2005. Perfiles por país del recurso pastura/forraje. México II. [http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/spanishtrad/Mexico\\_sp/Mexico\\_sp.htm](http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/spanishtrad/Mexico_sp/Mexico_sp.htm).
- Anta Fonseca, S., J. Carabias et al. 2008. Consecuencias de las políticas públicas en el uso de los ecosistemas y la biodiversidad. In J. Carabias, A. Mohar, S. Anta-Fonseca, and J. de la Maza, eds. Capital Natural de México. Vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad, pp. 87–153. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Mexico.
- Balvanera, P., H. Cotler et al. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. Pp. 185-245 in Capital Natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Betancourt K., M. Ibrahim, C. Harvey, B. Vargas, Agroforestería en las Américas 10, 39-40, 47–51, (2003).
- Blokhuis, H.J. Jones, R. B. Geers, R. Miele, M. & Veissier, I. 2003 Measuring and monitoring animal welfare: transparency in the food product quality chain. Anim. Welfare 12, 445-455.
- Burgess, P.J. 1999 Effects of agroforestry on farm biodiversity in the UK, Scottish Forestry, 53, 24-27.
- Burney, J.A., Davis, S.J. & Lobell. D.B. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. Proc. Nat. Acad. Sci. 107, 12052-12057, (2010).
- CICC 2012. Cambio climático en México. (<http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/ccygob/ccygob.html>).
- Ceballos, A. Rubio, V. & Estrada, J. 2008 Desequilibrios minerales de bovinos en sistemas silvopastoriles, in E. Murgueitio, C.A. Cuartas, J.F. Naranjo, eds, Ganadería del Futuro, 431-439, Fundación CIPAV, Cali Colombia.
- Challenger A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado presente y futuro. CONABIO, Instituto de Biología UNAM y Sierra Madre A.C. México. Pp. 530-531, 586-587.
- Challenger A. 2014. Capítulo 2. Los paisajes naturales y humanos de México. in: Valdez R. y J. A. Ortega-S., eds. Ecología y manejo de fauna silvestre en México. Biblioteca Básica de Agricultura, Editorial del Colegio de Posgraduados, Universidad Autónoma Chapingo, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Chamorro, D. & Rey, A.M. 2008 El componente arbóreo como dinamizador del sistema de producción de leche en el trópico alto Colombiano, experiencias de Corpoica-Tibaitatá, in E. Murgueitio, C.A. Cuartas, J.F. Naranjo, eds, Ganadería del Futuro, 349-397, Fundación CIPAV, Cali Colombia
- Collins WW and Qualset CO. Biodiversity in Agroecosystems. Florida (Boca Raton): CRC Press LLC, 1999.

- CONABIO. La diversidad biológica de México: Estudio de país. México (D.F.): 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- CONAPO. 2015. Proyecciones de población del 2010 al 2050/Datos de proyecciones. ([http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones\\_Datos](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos)), fecha de consulta: 1 diciembre de 2015.
- Córdoba, C.P., C.A. Cuartas, J.F. Naranjo, R.E. Murgueitio, in Memorias del Tercer Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles para la Ganadería Sostenible del siglo XXI, 253-254. (Morelia, Michoacán, México, 2011).
- Cruz-Angon A, Sillett TS and Greenberg R. An experimental study of habitat selection by birds in a coffee plantation. *Ecology* 2008; 89(4):921–927.
- Dalzell, D.A. Shelton, H.M. Mullen, B.F. Larsen, P.H. & McLaughlin, K.G. 2006 *Leucaena, a Guide to Establishment and Management*. Meat and Livestock Australia Ltd, Sydney Australia.
- De Haan C, Steinfeld H and Blackburn H. *Livestock and the environment: Finding a balance*. U.K. (Suffolk): Comision of the European Communities, FAO, World Bank, 2005.
- Enriquez Q., J. F., F. Meléndea N., E. D. Bolaños A., V. A. Esqueda E. 2011. Producción y manejo de forrajes tropicales. INIFAP, SAGARPA, Ver., México.
- Enriquez Q., J. F., F. Meléndea N., E. D. Bolaños A., V. A. Esqueda E. 2011. Producción y manejo de forrajes tropicales. INIFAP, SAGARPA, Ver., México.
- Esquivel, H. Ibrahim, M. Harvey, C. & Villanueva, G. 2004 Árboles dispersos en potreros da fincas ganaderas en un ecosistema seca da Costa Rica. in *Agriforestaria de las Américas*, 11, (Turrialba, Costa Rica, CATIE 2004).
- Fajardo, N.D. Johnston, R. & Neira, L.A. 2008 Sistemas ganaderos amigos de los aves. in E. Murgueitio, C.A. Cuartas, J.F. Naranjo, eds, *Ganadería del Futuro*, 171-203, Fundación CIPAV, Cali Colombia.
- FAO 2013. *Tackling climating change through livestock. A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 139 p.
- Fernández C.L. 2006. Efecto del grado y tipo de arborización en la producción de leche en Camagüey. Tesis de Maestría en Pastos y Forrajes. Universidad de Matanzas Camilo Cien Fuegos, Matanzas, Cuba 73 pp. <http://biblioteca.ihatuey.cu/links/pdf/tesis/tesism/luisfernandez.pdf> Fecha de consulta: miércoles 14 de marzo del 2012.
- FIRA. *Ranchos cinegéticos. Oportunidad de diversificación, ganadería sustentable*. Boletín informativo XXX (306):1-100. México:FIRA. 1998
- Flores, M. and Solorio, B. 2012. *Ganadería sustentable en México. Primera etapa del proyecto estratégico de calidad nacional*. SAGARPA. Fundación Produce Michoacán, COFUPRO, UADY. Morelia, Michoacán, México.
- Fornos, S. Espinel, R.G. Murgueitio, E. Meijja, C. Soto, R. & García, B. 2008, *Establecimiento y desarrollo de sistemas silkvopastoriles en Nicaragua*, in E. Murgueitio, C.A. Cuartas, J.F. Naranjo, eds, *Ganadería del Futuro*, 301-323, Fundación CIPAV, Cali Colombia.
- Galindo, F., et al. David Williams<sup>2</sup>, Carlos González-Rebeles<sup>1</sup>, Heliot Zarza<sup>3</sup>, Rafael Ávila-Flores<sup>4</sup>, R. Olea<sup>1</sup>, and Gerardo Suzán. (n prensa). *Livestock production in tropical Mexico: the need for sustainable options*. En: *Tropical Conservation: A view from the south on local and global priorities*. A. A. Aguirre, R. Skumar, y R. A. Medellin. Oxford University Press, E.U.
- Gallardo F. 2010. Estudio y análisis del mercado de los productos del sistema bovinos doble propósito en el estado de Veracruz. pg 13. <http://www.funprover.org/Estudios%20Estrategicos%20Ovinos,%20Toronja%20y%20Bovinos%20Doble%20Proposito%20Colpos%20Veracruz/Estudiodianalisisbovinos.pdf> Fecha de consulta: martes 01 de diciembre del 2015.
- Gallina S, Mandujano S y González-Romero A. *Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, Mexico*. *Agroforestry Systems* 1996; 33:13-27.
- Gallina S. y Mandujano S. *Investigaciones sobre ecología, conservación y manejo de ungulados silvestres en México*. *Tropical Conservation Science* 2009; 2(2):128-139.
- González Rebeles, C. 2007. *Zootecnia aplicada a la fauna silvestre*. En M.E. Trujillo, editor. *Introducción a la Zootecnia* (pp. 481-514). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UNAM, México, D. F.
- González RM, Montes R y Santos J. *Caracterización de las unidades para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de fauna silvestre en Yucatán, México*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2003; 2:13-21.

- Gordon, A.M., Thevathasan, N.V. & Dube, F. 2012 Carbon sequestration: a farm-level benefit of adopting silvopastoralism in temperate North America. In Proc. 2nd Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Arroquy J., Ledesma R., Roldán B. & Gómez A., eds, 429-440, INTA, Min Agric. Santiago del Estero, Argentina Santiago del Estero.
- Green R.E., Cornell S.J., Scharlemann J.P y Balmford A. 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science*. 307:550-555.
- Harvey, C.A. & Haber, W.A. 1998 Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforest Syst*, 44, 37-68. doi: 10.1023/A:1006122211692
- Harvey, C.A. et al, Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes in Central America. *Ecosyst. Environ.* 111, 200–230 (2005).
- Ibrahim, M., C.P. Villanueva, and F. Casasola. 2007. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 15:73–87.
- LEAD.Livestock long shadow environmental issues and options. *Livestock Environment and Development*. Italy (Rome): FAO, 2006.
- M. Shelton, In *Leguminosus forrajeras aboréas en la agricultura tropical*, ed. T.Clavero, 17-28. (Fundación Polar, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, 1996).
- Mancera, A.K. & Galindo, F. Evaluation of some sustainability indicators in extensive bovine stockbreeding systems in the state of Veracruz. VI Reunión Nacional de Innovación Forestal 31, León Guanajuato, México (2011).
- Martin, G., M.Milera, J.Iglesias, L. Simón, H.Hernández, In *Intensificación de la ganadería en Centroamérica*, ed. C.Pomareda, H.Steinfeld, 247-266. (CATIE,FAO,SIDE, 2000).
- McAdam, J.H. & McEvoy, P.M. The potential for silvopastoralism to enhance biodiversity on grassland farms in Ireland. In A. Rigueiro-Rodriguez et al, (ed), *Agroforestry in Europe: Current Status and Future Prospects*, 343-356, (Springer Verlag, Berlin, Germany 2009).
- McNeely J and Scherr S. 2008. Biodiversity conservation and agricultural sustainability: towards a new paradigm of 'ecoagriculture' landscapes. *Phil. Trans. R. Soc.* [serial on line] 2008 July [cited 2009 Oct 26]; 363:477–494. (doi:10.1098/rstb.2007.2165). (URL:http://www.ecoagriculturepartners.org).
- Molina C., C.H. Molina D.C.H. Molina, E.J. & Molina, J.P 2008 Carne, leche y medio ambiente en el sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit Mimosaceae, in E. Murgueitio, C.A. Cuartas, J.F. Naranjo, eds, *Ganadería del Futuro*, 41-65, Fundación CIPAV, Cali Colombia.
- Múnera, E., B.C. Bock, D.M. Bolivar, and J.A. Botero. 2008 Composición y estructura de la avifauna en diferentes hábitats en el departamento de Córdoba, Colombia. In E. Murgueitio, C. A. Cuartas, J. F. Naranjo, eds. *Ganadería del Futuro*, pp. 205–225. Fundación CIPAV, Cali.
- Murgueitio, E. & Giraldo, C. Sistemas silvopastoriles y control de parasitos. *Revista Carta Fedegán*, 115, 60-63 (2009).
- Murgueitio, E. & Ibrahim, M. 2008 Ganadería y medio ambiente en América Latina, in E. Murgueitio, C.A. Cuartas, J.F. Naranjo, eds, *Ganadería del Futuro*, 19-39, Fundación CIPAV, Cali Colombia.
- Murgueitio, E. 2004 Silvopastoral systems in the neotropics. in *Proceedings of International Conference on Silvopastoralism and Sustainable Management*, 24-29, M.R. Mosquera-Losada, A. Rigueiro-Rodriguez, J. McAdam, eds, Lugo, Spain.
- Murgueitio, E. Chará, J. Barahona, R. Cuartas, C.A. and Naranjo, J.F. 2012 Los sistemas silvopastoriles intensivos, herramienta da mitigación y adaptación del cambio climático. *Proc IV Congreso Internacional Sistemas Silvopastoriles Intensivos*, 1-8. Morelia y Valle de Apatzingán/Tepalcatepec. Fundación Produce Michoacán, Cofupro, Sagarpa, CIPAV, UADY. Morelia (Michoacán), México.
- Murgueitio, E. et al, *Produção de leite com sistemas silvipastoris intensivas. Pesquisa, desenvolvimento e inovação para la sustentabilidade da bovinocultura leiteira*. ed L. G. Ribeiro Pereira, 93-108. Juiz da Fora (MG), Brasil. EMBRAPA Gado de Leite, (2011).
- Murgueitio, E., 1999. Reconversión ambiental y social de la ganadería bovina en Colombia. *World Animal Review* 93 (2): 2-15. FAO, Roma.
- Murgueitio, E., Cuartas, C.A. & Naranjo, J.F. 2008 *Ganadería del Futuro*, Fundación CIPAV, Cali Colombia.

- Murgueitio, R.E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A. & Solorio B. 2011 Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecol. Mgmt*, 261, 1654-1663. doi: 10.1016/j.foreco.2010.09.027
- Murgueitio E, Cuartas C y Naranjo J (Eds). 2008. Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. Fundación CIPAV. Calí, Colombia. 490 pp.
- Nahed T, Valdivieso P, Aguilar J, Cámara C, Grande C. 2013a. Silvopastoral systems with traditional management in southeastern México: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *Journal of Cleaner Production* (57):266-279
- Nair, V.D. & Graetz, D.A. Agroforestry as an approach to minimizing nutrient loss from heavily fertilized soils: the Florida experience, *Agroforest. Syst.*, 61, 269-279 (2004).
- National Academy of Sciences, Leucaena promising forage and tree crop for the tropics, (National Academy of Sciences, Washington D.C., U.S.A. 1977).
- Ocampo, A. Cardozo, A. Tarazona, A., Ceballos, M. & Murgueitio, E. La investigación participativa en bienestar y comportamiento animal en el trópico de América: oportunidades para nuevo conocimiento aplicado. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*, 24, 332-346 (2011).
- Pagiola S, Ramírez E, Gobbi J, Haan C, Ibrahim M, Murgueitio E, Ruíz P. 2007. Paying for the environmental services of silvopastoral practices in Nicaragua. *Ecological Economics* 64: 374-385.
- Palma G, Nahed T, Sanginés G. 2011. Alternativas para una reconversión ganadera sustentable. *Agroforestería pecuaria en México*. Universidad de Colima. ISBN 978-607-7797-03-6. Colima, México. 187 pp
- Pezo D, Ibrahim M. 1998. Sistemas silvopastoriles. Colección de Modelos de Enseñanza Agroforestal No. 2. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE.
- Pfaff, A.S.P., Kerr, S., Hughes, R.F., Liu, S., Sanchez-Azofeifa, G.A., Schimel, D., Tosi, J. & Watson, V. 2000. The Kyoto protocol and payments for tropical forest: an interdisciplinary method for estimating carbon-offset supply and increasing the feasibility of carbon market under the CDM. *Ecological Economics* 35: 203-221.
- Primack R, Rozzi R, Feinsinger P, Dirzo R y Massardo F. Fundamentos de conservación biológica, perspectivas latinoamericanas. México (D. F.): Fondo de Cultura Económica, 2001.
- Rivera, L.B. Botero, M. Escobar, S & Armbrrecht, I. 2008 Diversidad de hormigas en sistemas ganaderos, in E. Murgueitio, C.A. Cuartas, J.F. Naranjo, eds, *Ganadería del Futuro*, 228-243, Fundación CIPAV, Cali Colombia.
- Rois-Díaz, M., Mosquera-Losada, R., & Rigueiro-Rodríguez, A. (2006). Biodiversity indicators on silvopastoralism across Europe. European Forest Institute.
- Sánchez MD y Rosales M, editores. *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*. Memorias de una conferencia electrónica realizada de abril a septiembre de 1998. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal 143. Roma: FAO, 1999.
- Sánchez MD y Rosales M, editores. *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Memorias de la 2da Conferencia Electrónica (agosto 2000 a marzo 2001). Estudio FAO de producción y sanidad animal 155. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, 2003.
- Sánchez, M. D., and M. Rosales, editors. 2003. *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Estudio FAO de Producción y Sanidad Animal 155. FAO, Roma.
- Solorio-Sánchez, F.J. Solorio-Sánchez, B. Casanova-Lugo, F. Ramírez-Avilés, L. Ayala-Burgos, A. Ku-Ver, J. & Aguilar-Pérez, C. 2012 Situación actual global de la investigación y desarrollo tecnológico en el establecimiento, manejo e aprovechamiento de los sistemas silvopastoriles intensivos. in *Memorias del IV Congreso Internacional sobre Sistemas Silvopastoriles*. Morelia, Michoacán, Mexico.
- Solorio-Sánchez, F.J. H.M. Bacab-Pérez, L. Ramírez-Avilés, in *Memorias del Tercer Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles para la Ganadería Sostenible del siglo XXI*, 17-31. (Morelia, Michoacán, México, 2011).
- Teklehaimanot, Z. and Mmolotsi, R.M. 2007 Contribution of red alder to soil nitrogen input in silvopastoral systems. *Biol. Fertil. Soils*, 43, 843-848. doi: 10.1007/s00374-006-0163-9

Toledo V M, Ortiz-Espejel B, Cortés L, Moguer P and Ordóñez J. The multiple use of tropical forests by indigenous peoples in México: A case of adaptive management. *Conservation Ecology* 2003; 7(3):9-26.

Toledo VM. Repensar la conservación: ¿Áreas naturales protegidas o estrategia bioregional? *Gaceta Ecológica* 2005; (octubre-diciembre) (77):67-83.

Valdez R, Guzmán-Aranda JC, Abarca FJ, Tarango-Arámbula LA, Clemente F. Wildlife conservation and management in Mexico. *Wildlife Society Bulletin* 2006; 34(2):270-282.

Villegas D., Bolaños M., Olguín P. 2001. *La ganadería en México*. Instituto de Geografía UNAM. ISBN 968-856-918-6. Ciudad Universitaria. México D.F. 158 pp.

Weber M, Garcia-Marmolejo G, Reyna-Hurtado F. The tragedy of the commons: Wildlife management units in southeastern Mexico. *Wildlife Society Bulletin* 2006; 34(5):1480-1488.

# CAPITULO II

48 )

CAPITULO II

## FORRAJES Y PASTOREO EN MEXICO TROPICAL

Adrián Raymundo Quero Carrillo

Javier Francisco Enríquez Quiroz

Eduardo Daniel Bolaños Aguilar

José Francisco Villanueva Ávalos

### II.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos 40 años, la producción mundial de carne se ha incrementado 90 %; y, en el trópico, hasta un 200 %. Existe la necesidad de incrementar la producción de alimentos, pues para el año 2050 seremos 9.6 millardos de habitantes (contra 7 millardos de hoy), y este incremento debe alcanzarse con menos recursos disponibles y contaminando menos. Actualmente, el área abierta al pastoreo en el trópico se ha estabilizado, y el incremento continuo en la producción de carne es reflejo de un mejoramiento en la productividad por unidad de superficie, y en la mayor eficiencia en los parámetros productivos del hato. En áreas tropicales, este aumento se logró mediante sustitución de pastos nativos o introducidos en sucesión secundaria por el uso de especies forrajeras mejoradas. La demanda mundial de carne será cada día mayor y rentable, en beneficio de sistemas extensivos de producción vaca-becerro, eficientes y conservacionistas; los cuales, en México y al contrario de sistemas intensivos de riego, son y serán dominantes por mucho tiempo, y la buena noticia es que estos aún se encuentran muy lejos del potencial biológico de producción, ya sea por deterioro de los ecosistemas bajo pastoreo o por el manejo inadecuado de la explotación ganadera; por tanto, las inversiones en su profesionalización, mediante las actividades de investigación y extensión, serán altamente rentables.

Hasta antes de la década de 1980, la producción en pastoreo en América Latina se realizaba en base a gramíneas nativas y africanas naturalizadas, las cuales arribaron paulatinamente desde la época Colonial (viajes de esclavos africanos, como cama y alimento de semovientes), así como el resultado de esfuerzos localizados por introducir materiales forrajeros destacados a finales del siglo XIX, principios del XX (desacelerado por la revolución

y la depresión económica) y durante la segunda mitad del siglo XX a través de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA-Banco de México), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y esfuerzos individuales de investigadores y productores. Sin embargo, la constante en estas introducciones de recursos genéticos fue una pobre representatividad de la diversidad de cada especie de importancia forrajera, originada de los Centros de origen de especie; los cuales, son específicos y se encuentran en diversas regiones de África para el caso de especies tropicales de Poaceae; y para el caso de leguminosas forrajeras, en América tropical, Asia y África. Un esquema de adopción de recursos de amplia representatividad dentro de cada especie constituirá una base sólida para incrementar la estabilidad ecológica y máxima producción de los sistemas bajo pastoreo.

Actualmente se realizan esfuerzos para integrar recursos genéticos valiosos de las especies de mayor importancia para México tropical (*Brachiaria*, *Megathyrsus*, *Andropogon*, *Pennisetum*, entre otros). Después de la sequía, la disponibilidad de Nitrógeno (N) es la principal limitante de la producción en pastoreo en el trópico, y la asociación de gramíneas (Poaceae) con leguminosas (Fabaceae) constituye la primer herramienta de bajo costo a la mano, para incrementar la disponibilidad de N; sin embargo, debido a los costos de infraestructura para el manejo de praderas asociadas con diferentes estratos y diferentes épocas de disponibilidad de forraje, se ha definido a las leguminosas arbóreas, como la mejor opción para el manejo de asociaciones que benefician a la ganadería de pastoreo con forraje de calidad en el año y con integración de nitrógeno al ciclo productivo, evitando a corto plazo, el deterioro de praderas. Así mismo, se ha iniciado la integración

de la fisiología de la gramínea como factor de manejo; lo anterior, estandarizará la respuesta de la misma a diferentes manejos, y proporcionará información comparable para las decisiones de mejora del sistema de producción bajo pastoreo.

El presente documento tiene como finalidad proporcionar un panorama general y ligero sobre la situación actual y oportunidades para encuadrar las necesidades de investigación bajo condiciones de pastoreo con la interacción suelo-planta-animal sobre la pradera y prácticas de manejo inherentes, que definen el rendimiento económico y la pertinencia ecológica de los sistemas de pastoreo extensivo del trópico mexicano.

## II.2 TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

El ganadero es y será el núcleo central del manejo del pastoreo, y en la medida en que logremos su mayor participación, se lograrán integrar innovaciones basadas en la sustentabilidad de los sistemas, para aprovechar los bienes productivos (ecosistema, ganado, población humana) en una ganadería globalizada. La población de técnicos participantes, como agentes de cambio, para comunicar las innovaciones posibles en los sistemas de pastoreo incluye Agrónomos, Zootecnistas y Médicos Veterinarios de forma predominante. Al respecto, tanto investigadores como agentes de cambio somos principalmente tecnólogos y no hemos logrado a) establecer, b) medir y c) mejorar los mecanismos para lograr la participación en la 1) incorporación eficiente de tecnologías en forma dinámica a los sistemas de pastoreo de los productores y 2) mecanismos para medir su pertinencia o impacto (social, económico, ecológico, etc.) entre los productores. Posiblemente se deban incorporar sociólogos en mayor proporción, para que establezcan estos parámetros, porque el mayor problema en la eficiencia de la ganadería en pastoreo no es tecnológico, es que no se logra alcanzar a la población objetivo o que la población objetivo no nos considera relevantes.

La transferencia de tecnología consideraba al productor como un ente pasivo, que solo debía hacer o aplicar las actividades o instrumentos que se le proponían, sin tomar en cuenta su experiencia y expectativa. De esta forma, la continuidad y evaluación del trabajo de transferencia de tecnología se perdía por falta de herramientas para la captura, procesamiento y análisis de la información y documentación. En 1983, en el Campo experimental La Posta (INIFAP), de Paso del Toro, Veracruz, se inició un proceso de validación y transferencia de tecnología con un grupo de ganaderos que

se denominó “Programa Ganadero Tepetzintla”, antecesor de lo que actualmente se conoce como modelo de Grupos Ganaderos de Validación y Transferencia de Tecnología (GGAVATT), diseñado como método para validar y transferir tecnología, midiendo el impacto de ésta sobre los parámetros de hato principalmente, y sustentado en la formación y operación directa de un grupo ganadero receptivo y organizado para adoptar nuevas tecnologías, con el apoyo constante y directo de los tecnólogos.

La información generada durante varios años sobre el programa GGAVATT en el estado de Veracruz, se analizó. En este estudio participaron 296 productores de ganado de doble propósito (leche/carne); los cuales se clasificaron en tres estratos: alto, medio y bajo, acorde al nivel tecnológico contrastado con la respuesta productiva y económica. El estudio concluyó que la integración de innovaciones (cambio tecnológico) es un proceso que requiere tiempo, y éste dependerá de las posibilidades económicas (capacidad de riesgo) de que disponga el productor para adquirir tecnología y financiamiento; es decir, entre los productores con alto uso de tecnología en la ganadería de doble propósito, ésta es una actividad rentable que permite generar empleos e incrementar la utilidad neta de la empresa, por su capacidad de riesgo. Otro estudio que involucró a productores integrados en los programas GGAVATT, indicó que los resultados económicos fundamentan las ventajas de la tecnología aplicada en los ranchos ganaderos bajo este modelo, ya que a mayor nivel tecnológico, mayor rentabilidad y menores costos unitarios de producción. Similarmente al resto del país, existe amplia diversidad en la propiedad de la tierra de las áreas de pastoreo (comunal, ejidal, colonia -estas tres con sus “avecindados”, que también hacen uso de la vegetación-, privadas y tierras federales); lo anterior resulta en una amplia gama de ganaderos en receptividad y capacidad de riesgo ante la innovación por adquisición de tecnología.

El modelo GGAVATT ha mostrado constituir el mecanismo de mayor acercamiento a la transferencia eficiente de tecnología entre los ganaderos; sin embargo, consistentemente se ha observado que la permanencia de actividades innovadoras entre los productores deja de ocurrir en cuanto se aleja el técnico asesor; lo anterior, es indicativo de la importancia de un estrecho y continuo acompañamiento de un profesional especializado para hacer llegar la tecnología y verificar su aplicación hasta su consolidación. Este profesional especializado o comunicador, como eslabón presente entre el investigador y el productor, es una necesidad sentida, pues el

investigador o investiga o transfiere, tener las dos funciones es inoperante. Por lo anterior, la sinergia entre productor-vinculador-investigador está en el corazón de este reto; lo anterior, debido a que a partir de esta interacción se espera que resulte la aplicación al campo de nuevos conocimientos y tecnologías disponibles, que coadyuven a incrementar la producción de alimentos inocuos con métodos que contaminen menos, asegurando la disponibilidad de alimentos, la sustentabilidad ambiental y la oportunidad económica. Sólo los sistemas agropecuarios de producción sustentables podrían responder a esta situación.

## II.3 INVESTIGACIÓN EN FORRAJES TROPICALES

En el trópico húmedo de México, la investigación oficial en forrajes se inició en 1956 con la Oficina de Estudios Especiales (OEE) del Campo Experimental Cotaxtla, en Veracruz. En 1960, se crean dos institutos, sustituyendo a la OEE; en los cuales, se realizó investigación en forrajes: INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas) y el Campo Experimental “La Posta,” en Paso del Toro, Veracruz, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias (INIP), ambos en Veracruz. Ambos institutos se fusionaron en 1985, para constituir el actual INIFAP. En 1970, se inaugura el hoy extinto Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT) en Cárdenas, Tabasco; el cual, tuvo como función principal la formación de profesionales de licenciatura y maestría; sin embargo, mostró en forma similar, un fuerte desarrollo de investigación en forrajes y pastoreo, con el objetivo de alcanzar el máximo de producción de materia seca.

A principios de la década de 1980, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) estableció el Centro de Investigación, Enseñanza y Extensión en Ganadería Tropical (CIEEGT) en Martínez de la Torre, Veracruz, y el Colegio de Posgraduados inauguró el Centro Regional de Enseñanza e Investigación para el Desarrollo del Trópico Húmedo (CRECIDATH), actualmente, Campus Veracruz, entre los más importantes; los cuales han desarrollado investigación en materia de forrajes y pastoreo, aunque con fuerte énfasis en la formación de profesionales, en donde la investigación se centra en la elaboración de tesis de licenciatura y maestría, con menor interacción directa con productores, respecto aquélla que se alcanza por los objetivos institucionales, a través de INIFAP.

La evaluación de forrajes en América Latina tropical fue generalista, i.e. no atendía y por tanto, no se clarificaban los puntos específicos que afectaban la

producción en pastoreo, y se basó en documentación de la producción bajo diferentes manejos, sin enfocarse a los factores que la definen; lo anterior, ocurrió hasta el año 2000. No se habían definido los tres componentes básicos de la producción en pastoreo: 1) Mérito vegetal: determinación de los componentes que definen la mejor respuesta al manejo en morfología de planta y estructura de la pradera (como factores de mayor importancia en la interacción planta-animal), para la producción de forraje de calidad y con mayor rendimiento de materia seca. 2) Mérito del animal. En términos de la población ganadera, no se aceptaba el principio de que el ganado expresa eficientemente su valor genético si no sufre épocas de hambruna y, por tanto, se atacaba directamente la mejora en la eficiencia de parámetros del ható. 3) Ganaderos Profesionalizados. No se visualizaba la importancia de producir ganaderos avezados en el manejo de la pradera, el ható y las innovaciones tecnológicas para alcanzar la máxima producción sustentable.

Las etapas fenológicas vegetales: emergencia, amacollamiento, vigor y crecimiento, floración, maduración, etc., están condicionadas por el ambiente que las rodea, y se ha documentado que diferentes manejos o cultivares sembrados en el mismo sitio, presentan diferentes estados de desarrollo después de transcurrido el mismo tiempo cronológico; por tanto, las prácticas de manejo determinan el arribo y duración de cada etapa (Fig. 1). Para el caso de especies forrajeras tropicales, hasta 1990, en América Tropical, no se consideraban aspectos dinámicos relacionados a la morfo-fisiología de plantas, competencia por luz y nutrientes (Fig. 1). La evaluación de forrajes ocurría en base a escalas cronológicas de crecimiento y no fisiológicas, resultando en recomendaciones extremadamente superficiales, caracterizadas por una baja consistencia y valor comparativo de resultados aún con la misma especie, en diferentes ambientes y condiciones de producción, sin vinculación entre la fisiología vegetal y del ganado; lo anterior, resultó en un atraso en el entendimiento de la relación planta-animal-ambiente, con un progreso extremadamente lento. Cabe mencionar que esta estrategia no integrada de los componentes de la producción en pastoreo todavía persiste ampliamente en México y América Latina tropical. De hecho, el 100 % de la tecnología empleada en zonas tropicales de México, se basa en prácticas directas al animal: como vacunación y desparasitación interna y externa. Por el contrario, las prácticas agronómicas que aumentan la producción y calidad de las praderas (fertilización, pastoreo basado en fenología de la planta-estructura de la pradera y uso de leguminosas), sólo son

consideradas en el 1 % de las explotaciones. Sin embargo, existe la rotación de potreros en el 95 % de los ranchos; de los cuales, el 3 % emplea cerco eléctrico, importante para aumentar el número de divisiones para el mejor manejo de los pastos. Lo anterior, convierte al pastoreo en una actividad no muy rentable por la baja producción, no obstante que la producción animal en pastoreo, puede ser, sin problema, una actividad sustentable, si se pone en práctica el manejo integral de la tecnología ya existente por sistema de producción, llámese leche, carne o doble propósito. De esta manera, el pastoreo se convierte en un sistema sustentable y menos contaminante del medio, lo que conlleva a producir más y mejor los subproductos agropecuarios, siendo el manejo integral (con empleo de toda la tecnología ya existente) de los sistemas de producción, el que conlleve a la reactivación de la economía del medio rural del país.

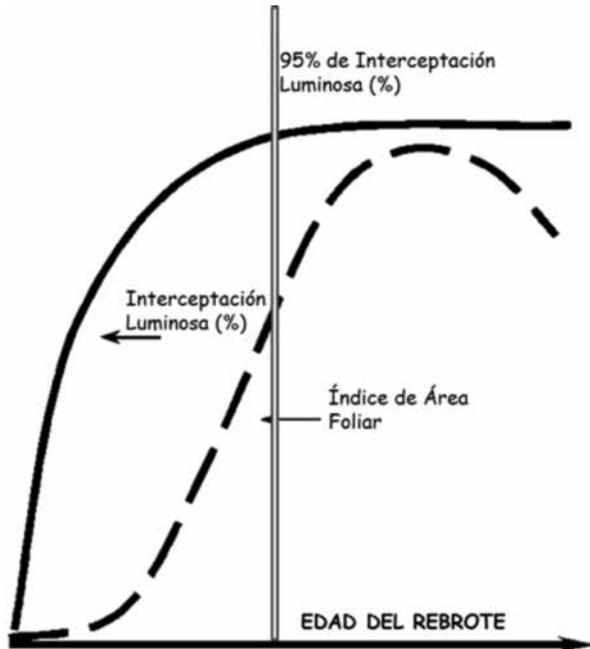


Figura 1. Comportamiento universal de las gramíneas forrajeras. Con la declinación del índice de área foliar, a partir del 95 % de intercepción luminosa (IL) en la pradera, cuando la curva de IL se vuelve asintótica y se incrementa la edad del rebrote, declinan en la pradera: la eficiencia fotosintética y acumulación de forraje, la respiración y la participación del material senescente en el forraje producido (disponible); por tanto, es manifiesta la importancia de relacionar fenómenos fisiológicos con el manejo de la pradera, contrariamente a días cronológicos, dado que estos están genéticamente determinados.

(modificado de Hodgson, 1990)

## II.4 EVALUACIÓN DE GERMOPLASMA

Durante los años ochenta, en Veracruz, se evaluaron más de 100 accesiones de gramíneas y 270 de leguminosas, tanto nativas como introducidas; entre éstas, se seleccionaron materiales de Guinea *Megathyrus maximus Sin. P. máximum* de hoja fina y Coloniaio; Elefante y Merkeron *Pennisetum purpureum*; Alemán, *Echinochloa polystachya*; las cuales, después de 40 años de haber sido seleccionadas, continúan siendo importantes para la alimentación del ganado por la superficie sembrada. El paso lógico para estas especies detectadas como fundamentales hubiese sido acopiar una muestra representativa de la diversidad de cada una de ellas, originada en el Centro de origen genético de la misma (al menos 400 ecotipos de cada especie), lo cual, sigue siendo una carencia sentida; aunque actualmente se han iniciado proyectos de intercambio con el International Livestock Research Institute del Grupo Consultivo de Investigación Agrícola Internacional (ILRI-CGIAR) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)-CGIAR, con lo cual se espera acelerar este proceso y subsanar lo antes posible esta baja representatividad de la diversidad de especies exóticas o introducidas de importancia.

Otras especies consideradas de mediana importancia actual o en proceso de sustitución destacan: Jaragua *Hyparrhenia rufa*, Pangola *Digitaria decumbens* y caña japonesa *Sacharum sinensis* y otras totalmente sustituidas incluyen: Imperial *Axonopus scoparius*, Honduras *Ixophorus unisetus* y Gordura *Melinis minutiflora*. En años posteriores, las evaluaciones de germoplasma se realizaron en los diferentes campos que establecieron INIA e INIP, donde se evaluaron materiales vegetales sobresalientes y se adicionaron nuevas introducciones, como Estrella Africana *Cynodon plectostachyus* (que ha alcanzado gran importancia en el trópico húmedo como pasto naturalizado), Estrella Sto. Domingo *Cynodon nlemfluensis*, Bermuda cruz I *Cynodon dactylon* cuyo uso se extendió adecuadamente durante la década

de los 70-80 y Buffel *Cenchrus ciliaris* con gran expansión y éxito para el trópico seco. Actualmente, se ha trabajado con recursos nativos de México de *Hymenachne amplexicaulis*, especie C3 adaptada a bajíos inundables tropicales, con potencial para manejarse bajo condiciones de riego fuera de su ámbito tradicional y con buen potencial de producción; i.e. con esta especie se está evaluando el potencial de la diversidad natural para los sistemas antropogénicos de producción en pastoreo.

Otros recursos forrajeros con características sobresalientes de adaptación y productividad incluyen la diversidad específica del género *Tripsacum* spp., de origen mesoamericano; el cual, a pesar de su alto potencial productivo, ha sido relegado en los diferentes sistemas de producción animal en el trópico mexicano. Especies como las pertenecientes al género *Brachiaria*, le dieron valor a las tierras de Sabana (especies nativas de baja calidad y productividad como el *Axonopus* spp. eran las únicas que se desarrollaban) predominantes en Tabasco. De esta manera, en los años 80s se integraron los pastos *Brachiaria decumbens*, *B. brizantha*, *B. humidicola*, dándole mayor productividad a la ganadería en estos terrenos.

Por otro lado, se realizaron también esfuerzos para seleccionar leguminosas, encontrando especies sobresalientes como: chícharo gandul *Cajanus cajan*, y frijol terciopelo *Stizolobium deerengianum* y *Centrosema brasilianum*; ambas, con muy poco o nulo uso actual para la alimentación del ganado; sin embargo, éstas se observan en regiones particulares (los Tuxtlas, Veracruz), a orillas de cerco, siembras de gandul para consumo humano y de frijol terciopelo como abono verde. De las leguminosas introducidas, destacan evaluaciones de germoplasma seleccionado o mejorado en Australia: Soya perenne *Neonotonia wightii*, con tres cultivares Australianos, Cooper, Tinaroo y Clarence; Siratro *Macroptilium atropurpureum*, *Centrosema pubescens* y Conchita Azul *Clitoria ternatea*, las cuales tuvieron escaso impacto entre los productores, por diversos aspectos, que incluyen: baja difusión, escasa disponibilidad de semilla regional o nacional a costos accesibles, manejo complicado para el establecimiento de la asociación o en bancos de proteína, dificultad para establecer el manejo requerido en pastoreo para lograr la persistencia de la(s) leguminosa(s), cambio de paradigmas para el uso de leguminosas entre los productores; lo anterior, entre los problemas de mayor influencia para su adopción por los ganaderos.

Aunque la mayoría de los materiales seleccionados se establecieron en suelos de buena fertilidad, las experiencias con estas especies dieron como resultado la necesidad de mantener cierto nivel de fertilidad en el suelo; lo anterior, debido a que los niveles de productividad y la persistencia (vida media útil) de las praderas se reduce gradualmente con los años. Bajo condiciones de mal manejo, la degradación de praderas formadas con leguminosas de estas especies, puede darse en un periodo de dos a seis años. Posiblemente ésta sea la razón que explique el fracaso de introducciones de gramíneas y leguminosas selectas para condiciones de Australia, México, Centro y Sudamérica; este fue el caso de las leguminosas *M. atropurpureum*, cv Siratro, *N. wightii* cv. Tinaroo, Cooper, Clarence y *Stylosanthes guianensis* cv Schofield, Cook y Endeavor, entre otras. Entre las gramíneas *Panicum maximum* cv Petrie, *Setaria anceps* cv Kazungula y Nandi, son otros ejemplos.

Inicialmente, el programa de forrajes de INIA y posteriormente de INIP, ya como INIFAP, se incorporó a la Red Internacional de Evaluación de Pastos tropicales (RIEPT) liderado por el CIAT – del CGIAR; lo anterior, con el objetivo específico de seleccionar materiales forrajeros para incrementar la productividad de regiones marginales del trópico del país, bajo la filosofía de bajos insumos. Durante los primeros años se capacitó a investigadores (de 1980-1991 se capacitaron 46 investigadores de INIFAP, UNAM, etc.) para realizar ensayos agronómicos sistemáticos acorde a metodología planeada, como ensayos tipo A (recolección), B (comparación morfológica), C (ensayos agronómicos) y D (ensayos de pastoreo) y trabajos de apoyo sobre fertilización, establecimiento de praderas, control de plagas y enfermedades, fijación de nitrógeno, producción de semilla etc.; así como ensayos de pastoreo basados en germoplasma adaptado a condiciones de suelos ácidos de baja fertilidad. En las vertientes del Golfo de México y del Pacífico, se establecieron 62 ensayos; específicamente, en trópico húmedo 44 ensayos regionales “B”; 23 con gramíneas y 21 de leguminosas, siguiendo metodologías propuestas por la RIEPT, que incluían: evaluación estacional de la producción de forraje con intervalos de corte cada 3, 6, 9 y 12 semanas de crecimiento y duración de dos o tres años, con germoplasma que se enviaba a colaboradores, con poca variabilidad en accesiones para gramíneas y mucha para leguminosas; las cuales, habían sido preseleccionadas por su desempeño en ecosistemas similares, por lo que ya se tenían antecedentes de la posibilidad de adaptarse con éxito al ambiente tropical mexicano.

Se evaluó gran número de accesiones de: *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens*, *B. brizantha*, *B. humidicola*, *B. dictyoneura*, *B. ruziziensis*, *Panicum maximum*, *Centrosema pubescens*, *C. macrocarpum*, *C. brasilianum*, *Arachis pintoii*, *Pueraria phaseoloides*, *Aeschynomene hixtris*, *Desmodium ovalifolium*, *Zornia latifolia*, *Z. glabra*, *Leucaena leucocephala*, *Clitoria ternatea*, *Stylosanthes guianensis*, *S. capitata*, *S. macrocephala* y, recientemente, *Cratylia argentea*, *A. pintoii* y colecciones de *Leucaena* spp., entre otras. De estas evaluaciones destacaron, por adaptación y rendimiento de forraje, la mayoría de especies de gramíneas, excepto *B. ruziziensis*, el cual, pocos años después de sembrado desaparecía de las parcelas, o bien de los ranchos en los cuales se evaluaba. Entre las leguminosas, las más importantes han sido el Kudzu *Pueraria phaseoloides* y, últimamente, ha destacado el cacahuatillo *A. pintoii* como leguminosa multipropósito; ya que, por su tolerancia a sombra, ha mostrado utilidad como cultivo de cobertura en cultivos perennes: café, plátano, cítricos, palma africana, macadamia, maderables, etc. proporcionando protección y mejoramiento de los suelos. Otros usos incluyen jardinería y control de la erosión en taludes de carreteras, en donde además, embellece el paisaje y en la producción animal asociada con gramíneas.

También para apoyar la calidad del alimento en el ganado, se evalúan regularmente cañas de corte *Pennisetum* spp. (Sin. *Cenchrus* spp.) y cultivos forrajeros como maíz y sorgo, con la finalidad de abatir la estacionalidad en la producción y calidad del forraje en el potrero y apoyar a la empresa ganadera. Los resultados destacados señalan que las variedades de sorgo sobresalientes para Veracruz fueron: FS22, Sugar Drip, Kansas Orange, y Atlas, y precoces como Trudan y SX11. En el istmo de Tehuantepec SX16, Sordan y Pionner 988 y, para ensilaje: Milk Maker, NK320 y Beef Builder. En la Costa de Chiapas para ensilaje: Sugar Drip, Beef Builder, Lindsey101, NK320, FS-15, Titán R, Azteca y FS-534. Para estos cultivos se definió la época de siembra apropiada, dosis de fertilización, manejo óptimo de corte y los resultados variaron dependiendo de la localidad y tipo de suelo.

Por otra parte, INIFAP y el CIID, en 1990, recomiendan al ganadero el ensilado de forraje en épocas de abundancia, para mantener al máximo la producción de carne y leche, y apoyar el aporte de la pradera en épocas de escasez. Sin embargo, tanto el ensilaje como el henificado fueron prácticas asimiladas por pocos ganaderos. Durante los últimos años estas prácticas están cobrando

importancia, y la conservación de forraje por estos medios se incrementa constantemente; lo anterior, debido a los cambios que se han venido dando en el clima de la región, presión de mercado globalizado, rentabilidad de la explotación y al interés por mantener o incrementar los niveles de producción de carne y leche, durante la temporada de sequía, así como los beneficios de estas actividades de soporte sobre los parámetros del hato y la condición de las praderas. Con el uso de pastos como Taiwán (*Pennisetum* spp.) y el uso de ferti-irrigación y suplementación en la temporada seca, se han obtenido producciones de carne de 1,374 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, promedio de 4.5 años de investigación, lo que representa un incremento de 400 a 500 % en la producción obtenida tradicionalmente en esta región.

## II.5 FERTILIZACIÓN

Los suelos de zonas tropicales se caracterizan por ser de pH ácido (<7), y aquellos suelos con acidez de pH 5 o menor, tienen un efecto inhibitorio sobre la fijación simbiótica de N, ligada no solamente a protones liberados, sino también al aumento de la solubilización de iones tóxicos como Al y Mn, a deficiencias de Ca, Mg, P y Mo. La vida útil promedio de una pradera de especies Africanas altamente productivas se estima en diez años, lo que se atribuye a diversos factores: reducción en la fertilidad del suelo, composición botánica pobre de la especie(s) deseada(s), compactación de suelo, lixiviación de nutrientes, entre las principales. Dado que especies forrajeras altamente productivas afectan el ciclo de nutrientes en suelos tropicales, también reducen la condición de la pradera, por tanto, se requiere de manejo de fertilización natural (asociación con especies fijadoras de N) o artificial (química) en éstas; lo cual, es un punto importante de investigación en el área de forrajes por dos razones: 1) costos de la fertilización y 2) renuencia de los ganaderos para realizar esta actividad agronómica.

Diversos estudios probaron dosis de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), y en estos se definió la importancia del N como factor fundamental, después de la sequía y la temperatura de crecimiento, para incrementar o mantener el desarrollo de las gramíneas y, por tanto, la productividad de la pradera. Los trabajos integrales realizados en CSAT, indican que la respuesta al N, en pasto estrella, es lineal hasta aplicaciones de 400 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, sin encontrar respuesta al P en suelos donde esta especie se desarrolló; lo anterior, se debe a que la concentración natural de este elemento en el suelo era suficiente para el

buen desarrollo vegetal. Otras pruebas mostraron respuestas favorables a la aplicación de N para incrementar rendimientos de materia seca en pastos Africanos de reciente introducción, con respuestas variables a la fertilización; las cuales, dependen de la capacidad productiva de la especie.

Entre los elementos nutritivos, el P es un macronutriente que juega un papel particular por su asociación al metabolismo energético (ATP) y a la síntesis de macromoléculas fosforiladas en los nódulos de las leguminosas. La baja disponibilidad de P es el principal factor que limita la producción de los cultivos en suelos ácidos. La deficiencia de P y la toxicidad por Al comúnmente coexisten en suelos ácidos, por lo que se asume que plantas con buen comportamiento en suelos ácidos como *Brachiaria* spp., *Stylosanthes*, *Pueraria phaseoloides*, *Arachis pintoii*, *Centrosema* spp., etc, poseen un nivel de utilización del P y tolerancia al Al, lo que se atribuye a su capacidad de englobar al Al mediante corpúsculos celulares especializados y aislarlo del metabolismo general de la planta, como ocurre con las plantas que soportan salinidad.

Por otra parte, la respuesta de las praderas a la fertilización fosforada es muy variable y principalmente depende del tipo de suelo. La fertilización fosfatada es el camino convencional para disminuir las deficiencias de P en suelos ácidos. Especies comerciales de *Brachiaria* requieren menos P y Ca respecto a *Panicum* y *B. humidicola*, la especie de mayor expansión en Tabasco, en particular en aquellos suelos ácidos con pH < 5.0, con drenaje deficiente y bajos niveles de P y Ca, donde es la más destacada. Se han indicado incrementos en la producción de materia seca conforme se aumentan los niveles de P, independientemente del tipo de suelo; sin embargo, esta respuesta varía de acuerdo a la fertilidad natural de estos, i.e. suelos con baja fertilidad natural (Sabana abierta) la respuesta es destacada, en comparación de aquéllos con mayor fertilidad (Teapa, Tabasco). En gramíneas forrajeras, en la mayoría de los casos, los incrementos en los rendimientos de forraje son ligeros en los niveles bajos, aumentando la respuesta con el nivel máximo evaluado y, en ocasiones, no se manifiesta un efecto en el rendimiento para suelos de aluvión en pasto Estrella. Lo anterior se encuentra asociado a la disponibilidad de este nutrimento en el suelo, en donde obviamente la respuesta será mayor en suelos deficientes. Existe suficiente información disponible en la literatura de trabajos realizados por el CIAT sobre dosis de fertilización fosfatada en pastos tropicales en suelos ácidos de baja fertilidad; los cuales, han demostrado la respuesta positiva

de los pastos a la aplicación de P en el suelo, con respecto al aumento de materia seca.

Las leguminosas responden generalmente de manera positiva a la fertilización fosfatada. Hay numerosos ejemplos de estimulación del crecimiento de las leguminosas, y mayor capacidad de competencia con otras especies por efecto de la aplicación del fósforo; también, algunas especies poseen una exigencia en fósforo más elevada (*Glycine max*) en comparación a otras como *Stylosanthes* spp. Al estudiar en invernadero el efecto de la fertilización fosfatada en nueve genotipos de *S. guianensis*, en suelos con pH de 4.5, se observó que las plantas fertilizadas (120 kg ha<sup>-1</sup> de P como superfosfato triple) adquirieron mayor peso de materia seca de tallos, con respuestas diferentes entre genotipos. En una asociación *S. guianensis* con *B. brizantha*, la leguminosa requirió para su establecimiento una menor dosis de fertilización (44 kg ha<sup>-1</sup>) en comparación con la gramínea (casi 100 kg ha<sup>-1</sup>), lo que indica la eficiencia de la leguminosa en la utilización del P disponible del suelo. Ya en años anteriores, se había observado no sólo un incremento en la producción de materia seca en *B. brizantha* y en *S. guianensis*, sino también un incremento de la concentración de proteína al aumentar las dosis de fertilización de P, hasta 200 mg kg<sup>-1</sup> de suelo; sin embargo, no se explicaron las razones de este incremento. Altas aplicaciones de fósforo son costosas y pueden convertirse en un contaminante del suelo, o bien, la aplicación de altas concentraciones puede llegar a inhibir el crecimiento de las raíces, como se observó en *S. guianensis*. Al comparar la disolución de la roca fosfórica entre las rizosferas de *B. decumbens* y de *S. guianensis*, se observó mayor dilución de la roca fosfórica en *Stylosanthes* spp., lo cual, se asoció a mayor área superficial de raíces.

Las leguminosas son más exigentes en nutrientes en comparación a gramíneas forrajeras; sin embargo, existen algunas de gran adaptación a los suelos ácidos de baja fertilidad, como son: *S. guianensis*, *C. brasilianum*, *A. pintoii*, *P. phaseoloides*, entre otros. Por tanto, el uso de cultivos con mayor eficiencia en el aprovechamiento del P del suelo, puede representar la ruta más económica en comparación al uso de fertilizantes fosfatados. En respuesta a la carencia o a la baja movilidad del fósforo en el suelo, las leguminosas forrajeras ponen en marcha dos estrategias:

- a. Mayor biomasa de raíces y modificación de la rizósfera. La eficiencia para adquirir P está determinada por el volumen de suelo explorado, indicado por la morfología de la raíz (longitud y área superficial) y arquitectura (distribución

espacial de las raíces a lo largo del perfil del suelo. Con ello, se aumenta la superficie de intercambio de solutos y se modifica la rizosfera secretando ácidos orgánicos, protones, enzimas, quelatos, y fosfatasa, con la finalidad de disolver el P insoluble del suelo. En *S. guianensis* se observó secreción desde las raíces, de ácido málico, tartárico y láctico, así como incremento en la actividad ácido-fosfatasa en suelos con fuertes deficiencias de P y toxicidad por Al.

- b. Mayor eficiencia metabólica de uso del fósforo. La planta incrementa su tasa de crecimiento o producción de biomasa por unidad de P consumido.

## II.6 PRODUCCIÓN DE SEMILLA

En México, entre 1960 y 1980 pocos estudios se enfocaron a la multiplicación de semilla; lo anterior, por el hecho de que la mayoría de las especies seleccionadas previamente, se reproducían exclusivamente de forma vegetativa: Pangola, Alemán, Pará *Brachiaria mutica*, Elefante, Merkeron, Estrella, etc.; lo anterior, exceptuando Jaragua y Guinea o Privilegio, cuya demanda era cubierta con la cosecha oportunista a orillas de carretera o de potreros destinados para el autoabastecimiento, sin que la semilla recibiera beneficio alguno, lo que resultaba en alto grado de impurezas y valores variables de calidad física y biológica, motivo por el cual los investigadores de esa época recomendaban sembrar de 25 a 30 kg de semilla por hectárea. Para gramíneas que se multiplican con material vegetativo y por demanda de los productores, se establecieron áreas de observación, las cuales, tuvieron dos finalidades: 1) monitorear el comportamiento productivo de materiales forrajeros bajo diferentes ambientes y 2) no menos importante, fungir como semilleros o lotes de propagación de material vegetativo para los ganaderos que los requirieran para sus predios. Estos lotes de observación se establecieron en 37 localidades de siete estados del sureste del país; de esta forma, los nuevos pastos empezaron paulatinamente su propagación y difusión en las diferentes regiones del área tropical. El problema de la consolidación de un mercado de semillas en México, tanto para condiciones tropicales como para otras regiones, es la falta de la definición oportuna de volúmenes de semilla requeridos y especies que componen la demanda (tarea de las asociaciones ganaderas y las agencias financiadoras de la productividad del campo); lo cual, daría la oportunidad de conformar inventarios sólidos de la diversidad de especies y, de igual forma, el hecho de que los programas gubernamentales definen, normalmente hasta

después de las fechas de cosecha de semilla (septiembre-octubre), los recursos aprobados para el establecimiento de praderas (marzo), cuando no se puede construir una reserva de inventarios de semilla de calidad adecuada y costos accesibles, para ofertar a los productores, promoviéndose entonces, la importación.

A partir de 1989 se iniciaron las siembras masivas de praderas, mediante semilla botánica de las nuevas especies en el trópico de México, dichas siembras se establecieron con semilla importada de Brasil y Australia, y las especies de *Brachiaria* representaron el 80 % de éstas. La fuerte aceptación por parte de los productores de estas especies, las cuales mostraron sus ventajas productivas sobre las tradicionales, ha propiciado una expansión a lo largo y ancho del trópico mexicano: de esta forma, se han sembrado desde el Sur de Tamaulipas hasta Yucatán y, desde Sinaloa hasta Chiapas, en la Costa del Pacífico. La elevada demanda de semilla generó necesidades de investigación para evitar las importaciones y producir semilla a más bajo costo y de mejor calidad biológica respecto a la importada. Se ha desarrollado tecnología en lo referente a manejo del rendimiento y sus componentes mediante sincronización de la floración, fertilización, métodos de cosecha, desarrollo de equipo de cosecha; también en el desarrollo de tecnología para el mejor establecimiento de praderas: comportamiento de la latencia de la semilla, métodos de incremento de la germinación, uso de tutores en la siembra de leguminosas, etc. Esto y la iniciativa de empresarios y productores ha permitido producir semilla comercial de: *Brachiaria*, *Cenchrus ciliaris*, *Andropogon gayanus*, Clitoria, Leucaena y Kudzú, de las cuales se abastecen las necesidades del país; sin embargo, se requiere seguir mejorando la calidad biológica y el incremento de la producción en estas y otras especies. También se ha iniciado la producción de pequeñas cantidades de semilla de algunas especies de *Arachis pintoi*. La producción de semilla de especies forrajeras en México se fortalecerá, ya que actualmente se están dando los primeros pasos para producir semilla a nivel empresarial en forma mecanizada, lo que permitirá abastecer la demanda nacional.

## II.7 POTENCIAL PRODUCTIVO

En comparación con la productividad de los trópicos de países desarrollados, hasta la década de 1980, América Latina tropical poseía un tercio de la productividad del Trópico Australiano y una cuarta parte de la productividad del trópico de Florida; y, acorde a los avances tecnológicos en regiones tropicales desarrolladas y aquéllos de

América Latina, Brasil es el único país que ha mostrado una estrategia consistente para modificar esta relación, y reducir esta brecha; identificando también, nuevas problemáticas asociadas a la amplia degradación de praderas. Esta reducción de la brecha tecnológica en Brasil ha ocurrido tanto por mejoras en la eficiencia de parámetros productivos del hato, como por el uso de variedades forrajeras selectas.

Al inicio de la década de 1960, la producción animal en México tropical era de 350 kg de carne por hectárea; al finalizar esta década, con la tecnología desarrollada que incluía el uso de fertilizantes en praderas de temporal fue posible producir 550 kg. Por otra parte, para el año 2000, se alcanzaron los más altos rendimientos en praderas tecnificadas con ferti-riego y suplementación en la época seca, donde se pueden obtener hasta 1,350 kg de carne por hectárea, lo que representa de un 400 a 500 % más, de la producción que se obtiene en forma convencional. Los cambios en la productividad basados en especies del género *Brachiaria* vs. Tecnología tradicional, han sido reportados por algunos investigadores, quienes señalan que en 2003 representaron 24 % de la producción nacional de leche y 5.3 % de la producción anual de carne de res en México.

Las especies dominantes en la producción tropical en pastoreo extensivo incluyen *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *B. dictyoneura* y *Megathyrus maximus* Sin. *Panicum maximum*, todos de reproducción apomíctica (reproducción clonal por semilla), lo que implica que pocas variedades o ecotipos dominan grandes superficies establecidas, lo cual resulta peligroso por la exposición elevada del sistema de producción en pastoreo, al efecto de plagas y enfermedades, como ha ocurrido en el pasado con mosca pinta en *B. decumbens* en Brasil, por lo que se requiere investigación para diversificar la base genética de las praderas establecidas de especies destacadas, y generar resistencia a los principales problemas de la producción animal tropical: mayor producción y calidad de forraje; resistencia a sequía, pastoreo, nubosidad, menores temperaturas; fijación de N en gramíneas; mayor capacidad asociativa entre especies forrajeras (multitemporal y multiestrato), entre los factores limitantes de la producción de mayor importancia.

Especies tropicales como *P. máximum*, *B. brizantha*, *B. decumbens*, *B. dictyoneura*, *Pennisetum* spp., *Cenchrus ciliaris*, *Hyparrhenia rufa*, *Andropogon gyanus*, *Melinis minutiflora*, tienen su centro de origen genético en África y por tanto, son de difícil acceso. Muestras representativas de la diversidad se han consolidado para *Panicum máximum*

y *Brachiaria* spp. Del género *Paspalum* spp., originario del sur de Brasil, norte de Argentina, Bolivia y Paraguay, se han realizado diversas colectas y se resguardan en el Centro Nacional de Recursos Genéticos y Biotecnología de Brasil.

Entre los países tropicales latinoamericanos, Brasil destaca con la aplicación de la mayor cantidad de recursos económicos y humanos para el desarrollo de la ganadería eficiente en pastoreo. Brasil comenzó su programa de mejoramiento genético de pastos durante la década de 1990, mediante la introducción sistemática de nuevos genotipos desde el centro de origen de especie para *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *B. ruzizensis*, *B. dictyoneura* y *M. maximus*; posteriormente, seleccionó genomas para: mayor producción, mayor calidad, mayor adaptación y finalmente, la manipulación genética mediante cruza dirigidas. Así mismo, a finales de esta misma época inició trabajos consistentes en el aprovechamiento eficiente de la pradera mediante el estudio consistente de atributos morfológicos y estructura de la misma bajo diversos manejos y ambientes. Entre las gramíneas tropicales, el 40 % aproximadamente se reproduce sexualmente y el resto vía apomixis (apospórica o diplospórica); inicialmente, la aplicación de selección de ecotipos naturales y su liberación como cultivares constituyó el primer paso a la mejora de los recursos forrajeros; sin embargo, para poder hacer mejoramiento genético en apomícticas se requiere obtener individuos (planta) de reproducción sexual, las cuales solamente permean en el Centro de origen de especie, principalmente África, las cuales se duplican artificialmente en laboratorio para la producción de plantas tetraploides sexuales y poder iniciar programas de cruzamiento y selección de híbridos, como ha ocurrido en *B. ruzizensis*, *B. decumbens*, *B. brizantha* y *B. ruzizensis*. Actualmente se realiza manipulación genética mediante biotecnología.

Entre las estrategias actualmente utilizadas en Brasil para mejorar atributos cuantitativos de interés agronómico incluyen: 1) selección recurrente recíproca, 2) selección recurrente intrapoblacional de individuos sexuales y 3) cruza dirigidas entre apomícticos y sexuales; los trabajos son enfocados a mejorar el rendimiento de forraje, resistencia a mosca pinta, tolerancia a la sequía, tolerancia a niveles tóxicos de Al y valor nutritivo elevado del forraje. En estudios avanzados, se pretende evaluar híbridos selectos durante siete cosechas (dos en sequía y cinco estaciones lluviosas) para definir sólidamente, híbridos superiores estimando valores de heterosis y de aptitud combinatoria para los atributos agronómicos indicados, con la posterior evaluación para ambientes desafiantes.

Mosca pinta o salvazo (*Aeneolamia postica* y *Aenolamia simulans*) ha sido un problema importante en gramíneas forrajeras y cultivos como caña de azúcar y maíz; esta plaga se detectó en 1950, reportándose daños en praderas en 300 a 400 mil hectáreas en la región del golfo de México y en partes de Chiapas y Oaxaca, es por ello que se desarrolló investigación para su control. Este problema ha sido detectado en Sonora y Tamaulipas en pasto Buffel y en Señal o Chontalpo *B. decumbens*, la especie de mayor importancia por superficie establecida, en el trópico húmedo. La importancia de disponibilidad de variabilidad genética dentro de especie queda plasmada ante el ataque de plagas.

Un ejemplo en México: cerca del 90 % de la superficie establecida con pasto Buffel es de un solo genotipo importado en 1957 a México, desde Texas: T-4454, Americano o Común (tres nombres), lo cual expone a grandes superficies al ataque de una plaga como mosca pinta, como ocurrió en Brasil con *decumbens*. Actualmente éste sigue siendo un problema por el manejo de variedades y especies forrajeras susceptibles a la plaga; tal es el caso de pasto Señal o Chontalpo, Buffel, Alemán, Pangola y de otros que en su momento se consideraron como resistentes; en los cuales, actualmente se observan problemas, como en Estrella de África que en sus fases iniciales de expansión era recomendado para sustituir a especies susceptibles. En los últimos años se ha recomendado el uso de gramíneas tolerantes a mosca pinta: *B. brizantha* y *Andropogon gayanus*, que muestran buena tolerancia y *B. humidicola* y *B. dictyoneura* con mediana tolerancia al ataque de esta plaga.

## II.8 PRADERAS DE PRODUCCIÓN EN PASTOREO

La mejor pradera (idealmente) contiene la mejor gramínea(s) para cada condición de producción en el rancho ganadero (tipo de suelo, clima, economía para la producción, etc.) combinada con la leguminosa adaptada a la diversidad de regiones y que persista bajo pastoreo. Al igual que en Brasil, en México su baja adaptación por el productor resulta de la complejidad del sistema asociado con leguminosas; lo anterior, debido a la baja tecnología e infraestructura de manejo del pastoreo disponible en Latinoamérica. Las leguminosas rastreras poseen menor soporte al pisoteo y defoliación, con baja o pobre restricción o control de la intensidad acorde al crecimiento, de ahí su problema principal: baja persistencia bajo pastoreo. Contrariamente, las especies con mejor nivel de persistencia bajo pastoreo son arbóreas,

destacando *L. leucocephala* y, entre las de hábito de crecimiento rastrero, *A. pintoi*, ambas con requisitos diferenciales: *Leucaena leucocephala* no soporta suelos muy ácidos e inundables, además requiere manejos específicos para su asociación con gramíneas estoloníferas agresivas, y muestra mayor adaptación al trópico seco en comparación al húmedo; por su parte *Arachis pintoi* tiene baja disponibilidad de semilla en el mercado.

Durante la década de 1960 y 1970 las ventajas del uso de *L. leucocephala* para la producción en pastoreo fueron ampliamente documentadas para Australia, donde se reconoció como una especie con alto potencial para la producción animal en dicho continente y, actualmente se utiliza de forma masiva. En México, desde finales de 1970 y en la década de 1980 hubo extensos trabajos que documentaron su forma de utilización y mejora de la germinación, métodos de asociación con gramíneas de diferente hábito de crecimiento y control de maleza, evaluación de recursos genéticos, rendimiento de forraje, respuesta a la fertilización, aumentos de peso en el ganado y presencia de plagas; posteriormente, se comprobó su alta probabilidad de uso en condiciones de temporal frías del altiplano zacatecano. Definitivamente esta es la especie de mayor importancia para su uso en condiciones de pastoreo en praderas asociadas de larga persistencia, ecológicamente responsable y de alta rentabilidad; sin embargo, su utilización entre los productores ha sido baja debido a la diversidad de razones indicadas en la sección de transferencia de tecnología de este mismo capítulo.

La producción de carne y leche es el punto culminante de la investigación en forrajes y los resultados sobre rendimientos son escasos, variables y poco comparables (generalistas), y estos dependen de la especie(s) y las prácticas de manejo aplicadas, así como también de la baja o nula estandarización de metodologías de cosecha o pastoreo (días cronológicos vs. días calor, calidad forrajera del rebrote, componentes morfológicos del forraje disponible). Un ejemplo: el uso o no de fertilización de la pradera permite, en la mayoría de los casos, incrementos hasta de 100 % en la producción de carne, por efecto de la presión de pastoreo que se puede ejercer, al tener mayor disponibilidad de forraje independientemente de la especie que se utilice.

En innovación tecnológica, la adopción de nuevas tecnologías supone la reestructuración del sistema de producción. En el caso del pastoreo, el de mayor impacto es el cambio de los días gregorianos (cronológicos) como herramienta del manejo del pastoreo por el de la respuesta fisiológica vegetal

y su relación con el ambiente (días-calor para el crecimiento); lo anterior, porque las comunidades vegetales se adaptan a la defoliación mediante mecanismos capaces de asegurar su longevidad y eficiencia fotosintética. El factor estructural de mayor sensibilidad a estas adaptaciones es el Índice de Área Foliar (IAF; Fig. 1) ajustándose de diversas formas, ya que comprende tres atributos de la pradera: densidad de tallos, número de hojas vivas por tallo (constante dentro de especie) y tamaño de hoja (área; en función de la intensidad de defoliación); por tanto, la densidad de tallos es el componente del IAF que permite la mayor flexibilidad en respuesta al régimen de defoliación.

En *M. maximus* se evaluó la respuesta morfológica a doseles resultantes de diferentes cantidades de forraje remanente (1,000, 2,500 y 4,000 kg ha<sup>-1</sup>) en pastoreo rotacional, con 33 días de descanso, y se reporta que el IAF a 95 % de interceptación luminosa (IL) fue de 3.6, 4.0 y 4.5, respectivamente y se alcanzó a los 22 días de rebrote. Esto es, la respuesta de las plantas forrajeras está directamente relacionada a las condiciones del ambiente de crecimiento (ambiente luminoso y estructura del dosel) y la dinámica estructural resultante en la pradera para lograr un balance óptimo entre fotosíntesis, respiración vegetal, crecimiento de la planta y senescencia; el cual deberá ser definido para cada especie forrajera, época y manejo, toda vez que 33 días mostró ser un periodo de descanso extremadamente largo.

La mayor intensidad de pastoreo (menor forraje residual) alteró la estructura del dosel incrementando los ángulos foliares, alcanzando el 95 % de IL a diferente IAF y en un periodo corto; los once días remanentes (33-22= 11) extra de crecimiento de la pradera tienen varios efectos:

- 1) Reducción de la calidad del forraje cosechado a 33 días. Posterior al momento en que la pradera alcanza una IL de 95 % las tasas de senescencia y respiración (catabolismo por autosombreo; Figura 1) del forraje, se incrementan; lo anterior, reduce el balance fotosintético (energético) positivo en la pradera. Por otra parte, la mayor participación de forraje senescente en el forraje total disponible para consumo del ganado resulta en menor digestibilidad del mismo. El forraje con 22 días de rebrote es más digestible en comparación a forraje con 33 días de edad de rebrote.
- 2) Reducción de las limitaciones físicas impuestas por la estructura elevada de dosel al ir más allá de 95 % de IL, dado que el ganado se adapta en intentos continuos de mejorar su eficiencia ingestiva.
- 3) Reducción en producción total de forraje y, en consecuencia en la producción animal, lo cual se atribuye a los siguientes factores:
  - a) Un menor crecimiento compensatorio (estímulo de yemas basales –dinámica de amacollamiento) de la pradera al prolongar los días de corte, afectando la condición, volumen y funcionalidad de la raíz.
  - b) Mayor contribución de forraje senescente en el forraje consumido por el animal.
- 4) Mayor número de ciclos de pastoreo durante la época evaluada. Mayor número de “vueltas al capital”. Un ejemplo, si las condiciones en que el forraje alcanza 95 % de IL (cada 22 días) se mantienen por seis meses del año, lo cual, normalmente no es el caso (hay que determinarlo mediante investigación), los ciclos de pastoreo se ven afectados de la siguiente manera:
 

180 d de pastoreo: descansos de 33 días =  $180/33 = 5.5$  ciclos de pastoreo (con forraje de menor calidad).

180 d de pastoreo: descanso de 22 días =  $180/22 = 8.2$  ciclos de pastoreo (con forraje de mayor calidad).

Diferencial:  $2.7$  ciclos más de pastoreo en seis meses:  $5.5/2.7 = 49.1$  % más pastoreos.
- 5) La cosecha del forraje (por corte o pastoreo) en gramíneas a 95 % de interceptación luminosa, acota la respuesta de la gramínea a la expresión del genoma (con expresión plástica) y sus variaciones en a) fisiología en respuesta al manejo del ambiente (tasas de rebrote y componentes de éste) quedan bien definidas y se modifican, en forma similar como respuesta genética específica, a b) La estructura de la pradera. Por tanto, estos aspectos dejan de ser generalistas y se vuelven específicos, como respuesta vegetal al manejo de la pradera. i.e. Se puede asignar el valor de un manejo acotado al 95 % de IL como expresión del genoma vegetal, el cual se vuelve de valor comparativo.
- 6) La cosecha del forraje a 95 % de IL en praderas de gramíneas, hace comparativos los resultados de experimentos de producción y manejo de la pradera en diferentes regiones, y las diferencias serán resultado directo del manejo evaluado en las condiciones fisiográficas establecidas (ambiente de crecimiento de la gramínea). Lo

anterior, haría comparables los resultados obtenidos en el país para cada especie de interés en diversos ambientes y manejos.

- 7) Otro efecto igualmente importante y menos documentado, es que la cosecha del forraje a 95 % de IL, incrementa la resistencia a factores bióticos y abióticos desafiantes para la planta y, en consecuencia, para la pradera: sequía, bajas temperaturas, nubosidad, entre otros por documentar, como resultado de mantener un aparato fotosintético eficiente, lo que mantiene elevadas tasas de mitosis en los meristemos vegetales (los mantiene juveniles).

El pastoreo a través de la intensidad (número de animales) y frecuencia de pastoreo (pastoreo rotacional o continuo), resulta en alteraciones de la vegetación: morfológicas, fisiológicas (velocidad de rebrote) de biomasa aérea y distribución de la biomasa radical y sus interacciones: disponibilidad de humedad, de nutrientes, intensidad luminosa y estadio fenológico de las plantas. Estas alteraciones, similarmente, varían con la época del año.

El pastoreo reduce el área foliar por remoción de tejido y causa reducción en la reserva de nutrientes por la necesidad de la planta de asignación de reservas a nuevo desarrollo de raíz y parte aérea, para compensar las pérdidas de tejido fotosintético; se ha documentado la importancia de las reservas de N orgánico, amino ácidos libres y nitratos; lo anterior, como factores que limitan en mayor proporción el rebrote en el forraje, en comparación con las reservas de Carbono. Las defoliaciones intensas favorecen a las especies con capacidad elevada de renovación de tejido, las de hoja pequeña y capacidad elevada de amacollamiento; por otra parte, bajo estas condiciones, especies de hojas largas, pocos tallos y baja capacidad de amacollamiento reducen su presencia en la pradera o desaparecen.

La plasticidad morfológica de las especies forrajeras con el cambio de la fisiología de asignación de fotosintatos, así como de características morfológicas (planta) y estructurales (pradera), son la respuesta de una relación evolutiva a través del pastoreo con los rumiantes. La luz, temperatura, humedad, disponibilidad de CO<sub>2</sub> y velocidad del viento son variables importantes que determinan el ambiente de la planta forrajera y modifican su respuesta plástica en morfología y estructura; este microclima puede ser manipulado mediante manejo del corte o pastoreo y constituye el factor de mayor importancia para promover el mejor crecimiento de la planta forrajera.

La defoliación afecta la absorción de nitrógeno, otros nutrientes y humedad por efecto de la reducción de la profundidad y de la superficie radical de contacto con el suelo (de forma general, defoliaciones más frecuentes e intensas provocan que las raíces sean superficiales; contrariamente a defoliaciones de menor intensidad y frecuencia); así mismo, el pastoreo beneficia a las plantas forrajeras por el incremento en intensidad y calidad de la luz en la parte baja del dosel, alterando la proporción de hojas nuevas por el rebrote, mediante la activación de meristemos basales, las cuales son más activas y eficientes fotosintéticamente.

En condiciones de pastoreo, la altura del dosel vegetal puede manipularse mediante la entrada y salida del ganado (inicio y finalización del pastoreo); por tanto, manejar diferente intensidad de éste resulta en diferente altura de forraje remanente. Al manejar estas intensidades de pastoreo, se verificó la importancia del valor de extinción luminosa ( $k$  =relación entre la luz incidente a nivel del dosel con diferente altura y la luz que llega al suelo en la pradera): a mayor altura de forraje remanente o residual (rastrojo) en la pradera (pastoreos ligeros), mayor índice de área foliar y de extinción luminosa, i.e. mayor aprovechamiento por el dosel vegetal remanente de la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), resultando en mayor producción de forraje, en comparación a doseles mantenidos más bajos (mayor intensidad de defoliación= menor extinción luminosa) en praderas de *Cynodon dactylon*, mantenidas a cuatro alturas de forraje remanente mediante pastoreo rotacional y continuo (5, 10, 15 y 20 cm). Estos valores de extinción luminosa indican cambios en la arquitectura vegetal (individual) y en el dosel (demográfico) en la pradera, mismos que se relacionan con el ambiente: época del año, fisiología, especie, variedad, presión de pastoreo y en la velocidad y duración de las hojas.

## II.9 LIBERACIÓN DE VARIEDADES

Evaluaciones de la RIEPT dieron la pauta para que por primera vez en México, se “liberaran” gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales productivas (Cuadro 1). Todas ellas provenientes de la diversidad genética recibida y evaluada en los ensayos de la RIEPT-CIAT-CGIAR, y aunque otras no recibieron liberación formal, también se utilizan ampliamente en el trópico mexicano, dentro de las cuales se incluyen: *M. maximus* cv. Tanzania y Mombaza; *B. dictyoneura* cv. CIAT 6133 (*Dictyoneura*) y *A. pintoi* cv. Cacahuatillo, el cual se utiliza en praderas, cobertera en cultivos de café, cítricos y jardinería. Actualmente, se trabaja en colaboración INIFAP-Colegio de Postgraduados (COLPOS), en

la evaluación de recursos genéticos de gramíneas nativas recolectadas en el trópico mexicano, donde el comportamiento morfológico y agronómico de materiales de *H. amplexicaulis* e *H. acutigluma* está siendo evaluado ex situ en tierras bajas e inundables con la finalidad de detectar materiales sobresalientes y para el registro de variedades tipo para su posterior socialización entre los productores.

Cuadro 1. Gramíneas y leguminosas liberadas en México			
	Accesión No. CIAT	Cultivar	Año de liberación
Gramíneas:			
<i>Andropogon gayanus</i>	621	Llanero	1986
<i>Brachiaria brizantha</i>	6 780	Insurgente	1989
<i>Brachiaria decumbens</i>	606	Señal o/ Chontalpo	1989
<i>Brachiaria humidicola</i>	679	Chetumal	1991
<i>Brachiaria híbrido</i>	36 061	Mulato	2000
Leguminosas:			
<i>Clitoria ternatea</i>	20 682	Tehuana	1988
<i>Pueraria phaseoloides</i>	9 900	Jarocho	1989

Se colabora activamente con el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS-SAGARPA) en el desarrollo de descriptores varietales para el registro de variedades de especies forrajeras de temporal. A la fecha se han publicado las Guías Técnicas para la descripción varietal de: *Paspalum Paspalum vaginatum*; *Buffel Cenchrus ciliaris* L.; y pasto Banderita *Bouteloua curtipendula* y se está en espera de la impresión de otros descriptores; lo anterior, con el fin de agilizar y cubrir la necesidad de descriptores varietales para el mercado de semillas forrajeras.

## II.10 ASOCIACIÓN GRAMÍNEA-LEGUMINOSA

El factor limitante más común en la nutrición de plantas, es la baja disponibilidad de N mineral del suelo, ya que la cantidad que proviene de la amonificación y nitrificación de la materia orgánica es insuficiente. La fijación biológica de nitrógeno atmosférico se vuelve la alternativa viable, y éste es el proceso de convertir el gas nitrógeno del aire ( $N_2$ ), en amonio ( $NH_4$ ), forma intermediaria y asimilable por la planta, y su mineralización a nitratos. Pocas bacterias transforman el N no disponible a una forma reducida con valor en la agricultura. Por ello, para mantener altos rendimientos en praderas de gramíneas altamente productivas como las africanas, se tiene que recurrir a la fertilización nitrogenada, lo que eleva los costos de producción, la contaminación del suelo y agua, convirtiendo este sistema en no sustentable.

Tanto para incrementar el valor nutritivo de los forrajes tropicales, como para aprovechar la capacidad de fijación biológica de nitrógeno de la diversidad de especies leguminosas *Fabaceae*, así como permitir el ahorro de costos y esfuerzo en la aplicación de este elemento a los ganaderos, desde hace 40 años se reconoce la importancia de integrar leguminosas a las praderas tropicales, siendo Australia el país que integró éstas con mayor éxito a los sistemas de pastoreo tropicales. Por lo anterior, las leguminosas forrajeras (Fabáceas) actualmente deben convertirse en un componente primordial de las praderas. Las leguminosas tienen la facultad de asociarse con bacterias del suelo del género *Rhizobium*, y a través de una relación simbiótica, la bacteria abastece de nitrógeno directamente a la leguminosa e indirectamente, mediante la mortandad de raíces y la integración bacteriana, a las gramíneas forrajeras adyacentes. Sólo a través de asociaciones simbióticas, se pueden reducir suficientes cantidades de N útiles para las plantas. La capacidad de fijación de N atmosférico por las leguminosas tropicales ha sido reportada en un rango de 80 a 300 kg de N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, aunque sólo una fracción

es incorporada dentro del sistema suelo-planta, y la fijación de N es mayor conforme se promueve la cosecha eficiente del forraje (sin afectar la supervivencia de la planta; Cuadro 2).

Cuadro 2. Fijación de nitrógeno en leguminosas forrajeras tropicales		
Especie	Promedio (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Rango (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
<i>Acacia</i> spp.	270	
<i>Centrosema</i> spp.	259	126 - 365
<i>Enterolobium saman</i>	150	
<i>Leucaena leucocephala</i>	277	74 - 584
<i>Lotononis bainesii</i>	62	
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	291	
<i>Mikania cordata</i>	120	
<i>Pueraria phaseoloides</i>	99	
<i>Sesbania cannabina</i>	542	
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	124	34 - 220

Al integrar leguminosas, los resultados obtenidos en México han sido sobresalientes en la mayoría de los estudios de producción: ganancias de peso o producción de leche. Sin embargo, no se ha logrado la integración masiva de estos sistemas asociados entre los productores; las causas son diversas, sin embargo, entre las más importantes se puede señalar: 1) El bajo nivel de persistencia de la leguminosa (principalmente de hábito postrado) bajo el manejo actual del productor, i.e. la palabra clave en el uso de leguminosas es: persistencia de la asociación. 2) La baja disponibilidad de semilla en oportunidad, cantidad y a costos accesibles para realizar la siembra (pobre planeación de la demanda en base a los cierres de ventanillas y programas oficiales de apoyo). 3) La necesidad de desarrollar y compartir tecnología para el establecimiento de éstas entre la diversidad de condiciones fisiográficas y de gramíneas de hábito de crecimiento diferencial, entre otras. Condiciones que han limitado fuertemente su socialización a pesar de sus ventajas destacadas.

Los sistemas silvopastoriles comprenden normalmente dos o tres componentes manejados como siembras mecanizadas con rotación de cultivos y forrajeras, basados en sistemas de cero labranza, los cuales resultan en un mejor aprovechamiento del terreno y en beneficios técnicos, ambientales y socioeconómicos. El uso eficiente de tierras desmontadas en el trópico es una de las alternativas para la conservación de áreas no disturbadas, el cual no debe ser interpretado como uso indiscriminado o abusivo de éstas, sino como un uso racional y eficiente con el empleo de tecnología para optimizar la relación beneficio:costo. Un sistema sustentable implica varios conceptos básicos como son: eficiencia técnica, pertinencia ecológica, viabilidad económica y aceptación social; lo anterior, basado en principios fundamentales de: manejo y conservación del suelo y agua, manejo integrado de plagas y enfermedades, respeto al potencial productivo de la tierra, regionalización fisiográfica y agrícola, reducción de la presión de cosecha sobre la vegetación natural, reducción de la emisión de CO<sub>2</sub>, fijación y secuestro de carbono, cumplimiento de la legislación ambiental, fomento a reserva de áreas naturales, reconocimiento a los servicios ambientales, adopción de buenas prácticas agropecuarias, producción certificada e implementación de un balance energético positivo.

## II.11 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA INVESTIGACIÓN EN FORRAJES EN MÉXICO TROPICAL

Los objetivos de la investigación sobre forrajes tropicales deben de estar articulados en torno a temáticas principales:

4. La integración y uso, por parte de los ganaderos, de los conocimientos validados, existentes en la literatura disponible para incrementar la producción en pastoreo.
5. Conservación y mejora de la base genética en las especies vegetales de mayor importancia.
6. Trabajar sobre objetivos a largo plazo, consistentes: sequía, nubosidad, bajas temperaturas, fijación de nitrógeno, entre los de mayor impacto y pertinencia social.

La adaptación de los forrajes al cambio climático y disminución de emisiones de gas de efecto invernadero por los animales en pastoreo o estabulados, deben de concretarse en nuevos programas de investigación.

Se requiere de un programa sólido de investigación por regiones (Árida, Tropical y Templada), con presupuesto constante y seguro, con planes sistemáticos de evaluación continua, además objetivos claros y consistentes de investigación, en el cual se establezcan líneas de investigación prioritarias acordes con problemas actuales y reales, que aporten tecnología innovadora.

## II.12 DESAFÍOS

Atender las demandas de investigación tanto básica como aplicada en las diferentes regiones agroecológicas del país; para ello, existe un Programa Nacional de Forrajes, el cual, enmarca las líneas de acción. Existe, por otra parte, un abanico amplio de problemas y limitantes, tanto para la producción, vinculación ciencia-ganadería que afecta el aprovechamiento de los recursos forrajeros. Estos van desde los impuestos por el ambiente, hasta tecnológicos, económicos, jurídicos, sociales y políticos.

- Grandes extensiones con pastos nativos de bajo valor forrajero.
- Baja disponibilidad de semilla de forrajeras de alta calidad física y biológica, a precios accesibles, para las diferentes condiciones agroecológicas del país.

- Deficientes sistemas de conservación y mejoramiento de forraje.
- Deficiente acopio y evaluación sistemática del germoplasma forrajero.
- \* Subutilización de esquilmos y subproductos agrícolas y agroindustriales.
- Baja aplicación o ausencia de un marco jurídico que norme y proteja el uso, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales dedicados a la ganadería.
- Sin embargo, el principal reto es llegar eficientemente a los productores con tecnología innovadora.

## II.13 CONCLUSIONES

Se debe satisfacer la demanda interna y desarrollar el potencial de exportación, mantener la viabilidad de numerosas unidades de producción de ganado aumentando su valor agregado, sin olvidar diversificar la producción y las fuentes de alimentación del ganado, sin deterioro de los recursos naturales. Existe amplio margen de mejora si se logra la vinculación eficiente con el productor, y se obtienen retornos financieros para lograr investigación sistemática e innovadora, competitiva a nivel mundial, basado en las siguientes consideraciones:

- \* El aspecto de mayor importancia para la producción en pastoreo es cosechar el forraje en el momento óptimo (95 % de interceptación luminosa).
- \* Se debe estandarizar la información sobre producción de forrajes y pastoreo a la cosecha eficiente de éste a 95 % de interceptación luminosa.
- \* México puede incrementar la productividad midiendo eficientemente la respuesta al manejo del pastoreo basado en atributos de estructura de la pradera.
- \* Existen amplios avances específicos para el manejo eficiente del pastoreo, desde una perspectiva económica y ecológicamente viable.
- \* Urge una unidad central de investigación en forrajes de temporal, tipo los Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria (CENID), que disponga de equipo, proyectos y tecnología innovadora dirigida al aprovechamiento eficiente de forrajes de temporal, dado que estos sistemas se encuentran

lejos de su límite biológico, contrariamente a aquéllos de clima templado.

- Considerar seguir el esquema de investigación sobre forrajes que ha establecido Brasil, lo que posiblemente potenciaría la ganadería Mexicana.

## II.14 LITERATURA CONSULTADA

Aguilar BU, Román PH, García GTB, López GI, Román PSI. Impacto de la tecnología en la ganadería de doble propósito en el estado de Veracruz. Avances en la investigación Agrícola, Pecuaria Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano. Libro Científico No. 5. Veracruz, Ver. 2008:411- 419.

Almeida de, RG, de Andrade CMS, Paciullo DSC, Fernandes PCC, Cavalante ACR, Barbosa RA, do Valle CB. Brazilian agroforestry systems for cattle and sheep. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 2013;1:175-183.

Alves GF, de Figueiredo UJ, Filho ADP, Barrios SCL, do Valle CB. Breeding strategies for *Brachiaria* spp. to improve productivity –an ongoing Project. *Tropical Grasslands –Forrajes Tropicales* 2014;2:1-3.

Arellano CA, Quero CAR, Zavaleta MHA, Cobos PMA, Pérez RP, Silva LM. Caracterización anatómica de hoja de recursos genéticos de *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees. En: Toca RJA et al. (compiladores): Conservación del pastizal, producción animal y bienestar del hombre. Editorial UJED. ISBN: 978-607-503-183-5. 2015;165-170.

Arellano CA, Quero CAR, Zavaleta MHA, Cobos PMA, Pérez RM, Silva LM. Variabilidad intraespecífica para valor nutritivo y digestibilidad in situ en recursos genéticos de *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees. En: Toca RJA et al. (compiladores): Conservación del pastizal, producción animal y bienestar del hombre. Editorial UJED. ISBN: 978-607-503-183-5. 2015A:393-397.

Balbino LC, A de Oliveira B, LF Stone. Marco Referencial. Integracao lavoura-pecuária-floresta. Ref. Document. EMBRAPA. Brasilia, DF. 2011.

Betancourt JR, Eguiarte VJA, Becerra BJ. Comparación de alturas y frecuencias de corte en leucaena con dos densidades de siembra. Reunión Anual de Invest. Pec. Méx. México, DF. 1987:179-180.

Boddey RM, Macedo R, Tarré RM, Ferreira E, de Oliveira OC, Rezende C de P, Cantarutti RB, et al. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystems & Environ* 2004;103(2):389-403.

Bolaños-Aguilar ED, Émile JC et Enríquez-Quiroz JF. Les fourrages au Mexique: ressources, valorisation et perspectives de recherche. *Fourrages* 2010;204: 277-282.

Bolaños-Aguilar ED. Grazing contribution to sustainable beef production in the tropics. In: VI Edición de la Conferencia Científica Internacional sobre Desarrollo Agropecuario y Sostenibilidad “Agrocentro 2014”. Lima OR editor. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Cuba. ISBN 978-959-250-973-3. 2014;86-90.

Canudas LEG. Producción Intensiva de Carne en Pastoreo de Pasto Taiwán Bajo Férti-Irrigación en el Trópico. Curso de actualización. UNAM. Producción de carne y leche en el trópico con base en pastoreo. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical. Tuxpan Ver. 2000.

Capacete-Casillas VA, Silva-Luna M, Quero-Carrillo AR, Hernández-Livera A, Hernández-Guzmán FJ, Vega-Loera MA. Caracterización inicial de semilla de Azuche *Hymenachne amplexicaulis* Rudge (Nees.). En: Toca RJA et al. (compiladores): Conservación del pastizal, producción animal y bienestar del hombre. Editorial UJED. ISBN: 978-607-503-183-5. 2015;318-324.

Carrete CFO, Eguiarte VJA, Sánchez AR. Establecimiento de leucaena en praderas de estrella África utilizando dos métodos de siembra. *Tec Pecu Méx* 1984;46:75-78.

Carrete CFO, Eguiarte VJA, Sánchez AR, Quero CAR. Comportamiento de toretes en praderas de estrella-leucaena en la época de secas en el norte de Nayarit. XII Cong. Nal. Buiatría. Tampico, Tamps. México. 1986;408-411.

Combes D, Pernès J. Variations dans le Nombres Chromosomiques du *Panicum maximum* Jacq. en Relation avec le Mode de Reproduction. In: *Comptes Rendues Academie des Science Paris*, Sér. D. 1970;270:782-785.

Difante GS, Júnior DN, da Silva SC, Euclides VPB, Zanine AM, Adese B. Dinamica do perilhamento do capim-marandu cultivado em duas alturas e tres intervalos de corte. *Rev Bras Zoot* 2008;37(2):189-196.

- Du YM, Tian J, Liao H, Bai CJ, Yan XL, and Liu GD. Aluminum tolerance and high phosphorus efficiency helps *Stylosanthes* better adapt to low-P acid soils. *Annals Botany* 2009;103:1239-1247.
- Eguiarte VJA, Rodríguez PCG, González SA. Producción de semilla de leucaena con la aplicación de diferentes cantidades de fósforo en el sur de Jalisco. *Reunión Anual de Invest. Pec. Méx.* México, DF. 1987:181.
- Enríquez-Quiroz JF, AR Quero-Carrillo, A Hernández-Garay, García-Moya E. Azuche *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees forage genetic resources for floodplains in tropical Mexico. *Genetic Resources & Crop Evolution* 2006; 53:1405-1412.
- Enríquez QJF, Hernández GA, Quero CAR, Martínez MD. Producción y manejo de gramíneas tropicales para pastoreo en zonas inundables. INIFAP-Colegio de Postgraduados. Folleto Técnico. ISBN: 978-607-715-279-8. 2015.
- Espinosa GJA, Aguilar BU, Román PH, Contreras HJL, Trujillo JE, Osorio RML, Barrera LO, et al. Impacto de la tecnología en la ganadería de doble propósito en el estado de Veracruz. *Avances en la investigación Agrícola, Pecuaria Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano. Libro Científico No. 5.* Veracruz, Ver. 2008:421-430.
- Fagundes JL, da Silva SC, Pedreira GS, Sbrissia AF, Carnevalli RA, Carvalho CAB, Pinto LMF. Índice de área foliar, coeficiente de extinción luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob lotacao contínua. *Pesq Agrop Bras* 2001;36:187-195.
- FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Ganadería-Banco de México. *Leucaena* (guaje), leguminosa tropical mexicana. Usos y potencial. FIRA-Banco de México XXV Aniversario. 1980.
- García WM. La investigación pecuaria en México. *Ciencia. (Num. Especial)* 1993; 127-139.
- Gates CT, Wilson JR. The interaction of nitrogen and phosphorus in the growth nutrient status and nodulation of *Stylosanthes humilis*. *Plant Soil* 1974;41: 325-333.
- González PMA, Ortega SJA. Evaluación de métodos de siembra para el establecimiento de *Leucaena leucocephala* en el sur de Tamaulipas. *Tec Pecu Méx* 1986;52:119-121.
- Guiot GJD, Salinas SG, Quero CAR, Carballo CA, Enríquez QJF, Beltrán LS, Barrón CJL, et al. *Guía Técnica para la Descripción Varietal de Pasto Buffel (Cenchrus ciliaris L.).* SAGARPA-SNICS. México, DF. 2014.
- Gweyi-Onyango JP, Tesfamariam T, Neumann G. Contrasting responses to phosphorus status by *Arachis pintoi* (Krapov W.C. Gregory): a lesson for selecting vegetables for cultivation in kenyan eco zones. *Asian J Agric Res* 2011;5(1):45-55.
- Hodgson J. *Grazing management. Science into practice.* Hong Kong: Longman Sci. and Technical; 1990.
- Hojito S, Horibata T. Plant exploration, collection and introduction from Africa. In: *Nekken Shiryo* 58. Tropical Agric Res Center. Japan. 1982:1-120.
- Holmann F, Rivas L, Argel P, Pérez E. Impacto de la adopción de pastos *Brachiaria* en Centroamérica y México. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2004.
- INIFAP-CIID Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Tercer informe del proyecto: Evaluación agronómica y bajo pastoreo de germoplasma forrajero tropical. México, DF. 1990:102-106.
- Ishigaki G, Gondo T, Suenaga K, Akashi R. Induction of tetraploid ruzigrass (*Brachiaria ruziziensis*) plants by in vitro multiple-shoot clumps and seedlings. *Japan Soc Grassl Sci* 2009;5:164-170.
- Jank L, Resende RMS, do Valle CB. Genética em pastagem. *Revista USP, Sao Paulo* 2005;64:86-93.
- Jank L, Barrios SC, do Valle CB, Simeao RM, Alves GF. The value of improved pastures to Brazilian beef production. *Crop Pasture Sci* 2014;65(11)1132-1137.
- Jiménez, GR, Eguiarte VJA. Producción de forraje de siete variedades gigantes de leucaena en la costa de Guerrero. *Reunión Anual de Invest. Pec. Méx. Cd. Victoria, Tamps.* 1991:325.
- Kavanová M, Gloser V. The use of internal Nitrogen stores in the rhizomatous grass *Calamagrostis epigeos* during regrowth after defoliation. *Annals Botany* 2005;95:457-463.
- Keller-Grein G, Maass BL, Hanson J. Natural variation in *Brachiaria* and existing germplasm collections. Miles JW, et al. editors. *Brachiaria: Biology, Agronomy, and Improvement.* Cali, CIAT. 1996;16-42.

- Kichel AN, Miranda CHB, Zimmer AH. Degradacao de pastagens e proucao de bovinos de corte com a integracao agricultura X pecuaria. I Simpósio de Producao de Gado de Corte. Brasil. s/f: 201-234.
- Kochian LV, Hoekenga OA, Pinéros MA. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. *Annual Rev Plant Biol* 2004;55:459-493.
- Liao MT, Hocking PJ, Dong B, Delhaize E, Richardson AE, Ryan PR. Variation in early phosphorus-uptake efficiency among wheat genotypes grown on two contrasting. Australian soils. *Aust J Agri Res* 2008;59:157-166.
- Lopes J, Evangelista AR, Fortes CA, Cardoso PJ, Furtini NAE, de Souza RM. Nodulacao e producao de raizes do estilosantes mineirao sob efeito de calagem, silicatagem e doses de fósforo. *Cienc Agrotec Lavras* 2011;35: 99-107.
- Lynch JP, Ho MD. Rhizo economics: Carbon cost of phosphorus acquisition, *Plant Soil* 2005;269:45-56.
- Marcondes WF. O drama da Braquiaria. *Rev. Criadores (Brasil)*. 1974;576:13-16.
- Meléndez NF, González JAM, Pérez PJ. El pasto Estrella Africana. México. Colegio Superior de Agricultura Tropical. (Boletín CA-7). 1980.
- Melgoza-Castillo A. Current situation of rangelands in Mexico. USDA Forest Service. Proc. RMRS. 2006.
- Mello ACL, Pedreira CGS. Respostas morfológicas do campim-Tanzania (*Panicum máximum* Jacq. Cv. Tanzania-1) irrigado à intensidade de desfolha sob lotacao rotacionada. *Rev Bras Zoot* 2004;33(2):282-289.
- Orozco AJ, Angulo LM, Pérez AP, Liodoro JH. Physiological and bromatological aspects of *Brachiaria humidicola*. *Rev CES Med Vet Zootec* 2012;7(1):87-98.
- Palhano AL, Carvalho PCF, Dittrich JR, de Moraes A, da Silva SC, Monteiro ALG. Padroes de deslocamento e procura por forragem de novilhas leiteiras em pastagem de capim mombaca. *Rev Bras Zoot* 2006;35(2):2253-2259.
- Palhano AL, Carvalho PCF, Dittrich JR, de Moraes A, da Silva SC, Monteiro ALG. Características do proceso de ingestao de forragem por novilhas holandesas empastagens de capim-mombaca. *Rev Bras Zoot* 2007;36(4): 1014-1021.
- Palomo J, Castro GR, Meléndez NF. Aprovechamiento del guaje (*Leucaena leucocephala*) (Lam.) de Wit. en pastoreo restringido sobre la ganancia animal en praderas de estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) K. Schum. *Agric Trop* 1980;2(3):326-332.
- Pastrana AL. Respuesta de *Brachiaria decumbens* a la aplicación de dos fuentes de fósforo en un suelo ácido. *Pasturas Tropicales* 1994;16(1):32-34.
- Peralta MA. Características agronómicas y contenido de mimosina en 30 ecotipos de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. en Yucatán. *Agric Tec Méx* 1980;6(2):129-135.
- Peralta MA. Evaluación de leucaena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit] para producción de forraje. II Reunión RIEPT. Veracruz, Ver. México. 1988.
- Peralta MA. Praderas tropicales para la producción de leche: situación actual y perspectivas. Seminario Internacional sobre Lechería Tropical. Villahermosa, Tabasco, 20 al 24 de noviembre. 1990.
- Pérez-Guerrero ZJ. Presencia de *Heteropsylla cubana* Craw. en especímenes de leucaena en México. Reunión Anual Invest. Pec. Méx. México, DF. 1989:122.
- Pérez MJ, Smyth TJ. Comparación del efecto de dos especies forrajeras sobre el pH de la rizosfera y la disolución de rocas fosfóricas de diferente reactividad. *Rev Fac Agron* 2005;22:142-154.
- Pinheiro AA, Pozzobon MT, do Valle CB, Penteadio MIO, Carneiro VT. Duplication of the chromosome number of diploid *Brachiaria brizantha* plants using colchicine. *Plant Cell Reports* 2000;19:274-278.
- Quero CAR, Eguiarte VJA Carrete CFO. Medición de la germinación de tres variedades de leucaena en el norte de Nayarit. Reunión Anual de Invest. Pec. México. México DF. 1986:17.
- Quero CAR, Sánchez RR, Eguiarte VJA, Carrete CFO. Rendimiento forrajero de tres variedades de leucaena en la región norte del Pacífico. Reunión Anual de Invest. Pec. Méx. México DF. 1989:58.
- Quero CAR, Sánchez RR, Carrete CFO, Herrera CF, Astorga WW. Tolerancia de leucaena a herbicidas postemergentes para cultivos de hoja ancha. Memorias, Congreso Soc. Mex. de Manejo de Pastizales AC. Monterrey, NL, México. 1990.

- Quero CAR, Talavera MD, Hussey MA. Leucaena for the arid high plateaus (Altiplano) of México. Proc Amer Soc Agron. Indianapolis, Indiana, USA. 1996.
- Quero CAR, Enríquez QJF, Miranda JL. Evaluación de especies forrajeras en América tropical, avances o status quo. *Interciencia* 2007;32(8):566-571.
- Quero CAR, Enríquez QJF, Morales CRN, Miranda JL. Apomixis y su importancia en la selección y mejoramiento de gramíneas forrajeras tropicales. Revisión. *Rev Mex Cienc Pecu* 2010;1(1):25-42.
- Quero CAR, Hernández GA, Miranda JL, Pérez PJ, Sánchez HM. Recursos genéticos para el pastoreo extensivo en México. Congreso Intnal de Manejo de Pastizales. Conferencia Magistral. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 2010;13-14.
- Quero CAR, Enríquez QJF, Herrera CF. Coordinadora de investigación y aprovechamiento sistemático de recursos forrajeros para México. Una propuesta. Congreso Intnal. de Manejo de Pastizales. Conferencia Magistral. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 2010.
- Quero CAR, Guiot GJD, Salinas CS, Enríquez QJF, Beltrán LS, Tovar GMR, Lagunas BC. Guía Técnica para la Descripción Varietal de Pasto Banderita (*Bouteloua curtipendula* Michx. Torr.). SAGARPA-SNICS. México, DF. 2014.
- Quero CAR. Pastoreo actual y/o profesionalizado. Importancia e Impacto. Conferencia Magistral En: Toca RJA et al. (compiladores). Manejo de pastizales, conservación del pastizal, producción animal y bienestar del hombre. VI Congreso Intnal. de Manejo de Pastizales, 1ra Reunión de Manejadores de Fauna Silvestre, 1er Encuentro Estatal de Ganaderos. Universidad Juárez del Estado de Durango. ISBN:978-607-503-183-5. 2015: 8-13.
- Quero-Carrillo AR, Villanueva-Ávalos JF, Morales-Nieto CR, Enríquez-Quiroz JF, Bolaños-Aguilar ED, Castillo-Huchim J, et al. Manual de Evaluación de Recursos Genéticos de Gramíneas y Leguminosas Forrajeras. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. ISBN: 798-607-425-890-5. Folleto Técnico 22. Santiago Ixcuintla, Nayarit. 2012.
- Quero-Carrillo AR, Miranda-Jiménez L, Hernández Guzmán FJ. Leucaena leucocephala (Lam.) de Witt. en México, bases para su utilización en la alimentación de rumiantes. Folleto Técnico. Colegio de Postgraduados 2014.
- Ramos SA. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo de forrajes en zonas tropicales y subtropicales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. -INIA. 1985.
- Rao IM, Kerridge PC, Macedo MCM. Nutritional requirements of *Brachiaria* and adaptación to acid soils. In: Miles JW, et al editors *Brachiaria: Biology, agronomy, and improvement*. CIAT Publicación No. 259. ISBN 958-9439-57-8. 1996:53-71.
- Resende RMS, Jank L, do Valle CB, Bonato ALV. Biometrical analysis and selection of tetraploid progenies of *Panicum maximum* using mixed models methods. *Pesq Agrop Bras* 2004;39(4):335-341.
- Rivas L, Cordeu J. Potencial de producción de carne vacuna en América Latina: Estudio de casos. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1983.
- Rivas L, LR Seré, Cordeu JL. La situación de la demanda de carnes en países seleccionados de América Latina y el Caribe. FAO-CIAT. 1989.
- Rodríguez PC, Eguiarte VJA, Hernández GF. Evaluación de diferentes métodos prácticos de escarificación en semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. en condiciones de trópico semiseco. *Tec Pecu Méx* 1985;48:24-29.
- Román PH, Bueno DHM, Aguilar BU, Pérez SJM, Rodríguez CHM, Koppel ERT. Manual del Modelo GGAVATT. INIFAP-CIRGOC. Campo Exp. "La Posta." Folleto Técnico Núm. 27. 2a ed. Veracruz, México. 2001.
- Salinas CS, Guiot GJD, Carballo CA, Quero CAR, Enríquez QJF, Beltrán LS, Barrón CJL. Guía Técnica para la Descripción Varietal de *Paspalum vaginatum* Swartz.). SAGARPA-SNICS. México, DF. 2013.
- Sánchez AR, Carrete CFO, Eguiarte VJA, Quero CAR. Comparación de cuatro alturas de corte en la producción y calidad de dos variedades de leucaena. Reunión Anual de Investigación Pecuaria en México. México DF. 1985:9.
- Sánchez AR, Carrete CFO, Eguiarte VJA. Crecimiento de becerras F1 cebú/ europeo en pastoreo de zacate estrella-leucaena y estrella solo en clima Awo. *Tec Pecu Méx* 1986;50:69-82.
- Sánchez AR, Carrete CFO, Eguiarte VJA, Quero CAR. Efecto de la aplicación de fósforo en la producción de semilla de leucaena. Reunión Anual de Invest. Pec. Méx. México, DF. 1985:241.

- Sánchez RR, Eguiarte VJA, Rodríguez PC. Comparación de tres alturas de corte en la producción y calidad de forraje de leucaena. *Téc Pecu Méx* 1989;27(2):85-89.
- Sánchez RR, Carrete CFO, Quero CAR, Herrera CF, Eguiarte VJA. Producción forrajera de seis variedades gigantes de leucaena en la costa norte de Nayarit. *Memorias, Soc Mex Manejo Pastizales AC*. Monterrey, NL, México 1990:88.
- Sbrissia AF, da Silva SC, Junior DN. Ecofisiología de plantas forrageiras e o manejo de pastejo. *Simpósio sobre Manejo de Pastagem. FEALQ*. Piracicaba, 3-5 de setembro. 2007:27.
- Sbrissia AF, da Silva SC, Sarmiento DOL, Molan LK, Andrade FME, Goncales AC, Lupinacci AV. Tillering dynamics in palisadegrass swards continuously stocked by cattle. *Plan Ecol* 2010;206:349-359.
- Schröder EC. Importance of symbiotic nitrogen fixation in tropical forage legume production. Sotomayor-Ríos A, Pitman WD editors. *Tropical forage plants: Development and use*. CRC Press LLC. 2001:251-267.
- Silva da SC, Júnior DN. Avancos na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo de pastejo. *Rev Bras Zoot* 2007;36(supl.):121-138.
- Simioni C, do Valle CB. Chromosome duplication in *Brachiaria* (A. Rich.) Stapf allows intraspecific crosses. *Crop Breed Appl Tech* 2009;9:328-334.
- Solórzano, EV. Guías fenológicas para cultivos básicos. 1ra ed. Ed. Trillas, México, DF. 2007.
- Sosa RE, Zapata BG. Productividad de variedades de *Leucaena leucocephala* bajo diferentes frecuencias de corte. *Tec Pecu Méx* 1996;34(2):121-126.
- Souza FR, Pinto JC, Siqueira JO, Rezende VF. Micorriza e fósforo no crescimento de *Brachiaria brizantha* e *Stylosanthes guianensis* em solo de baixa fertilidade. 3. Producao de materia seca sob condicoes de estresse hídrico. *Pasturas Tropicales* 1999;21(3):31-35.
- Swenne A, Louant B, Dujardin M. Induction par colchicine de forms autotetraploides chez *Brachiaria ruziziensis* Germain et Evrard (Graminée). *Agronomie Tropicales* 1981;36:114-134.
- Timbó ALO, Souza PNC, Pereira RC, Nunes JD, Pinto JEBP, Sobrinho FS, Davide LC. Obtaining tetraploid plants of ruzigrass (*Brachiaria ruziziensis*). *Rev Bras Zootec* 2014;43(3):127-131.
- Tarafdar JC, Claasen N. Preferential utilization of organic and inorganic sources of phosphorus by wheat plant. *Plant Soil* 2005;275:285-293.
- Toledo JM, Peralta MA. La problemática del establecimiento y la recuperación de pasturas. Lascano CE, Spain JM editors. *Establecimiento y renovación de pasturas. Conceptos, experiencias y enfoque de la investigación*. Sexta Reunión del Comité Asesor. Red internacional de evaluación de pastos tropicales (RIEPT). Veracruz, Veracruz, México. 1988. Cali, Colombia. 1991.
- Valle do CB, Valeria EPB, Montagner DB, Valério JR, Fernandes CD, Macedo MCM, Verzignassi JR, Machado LAZ. BRS Paiaguás: A new *Brachiaria* (*Urochloa*) cultivar for tropical pastures in Brazil. *Trop Grass* 2013;1:1-15.
- Vance CP, Uhde-Stone C, Allen DL. P acquisition and use: critical adaptation by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 2003;157: 423-447.
- Vega LMA, Quero CAR, Miranda JL, Hernández GA, Silva LM, Villanueva AF. Composición química del forraje en recursos genéticos de *Hymenachne* spp. En: Toca RJA et al. (compiladores). *Manejo de pastizales, conservación del pastizal, producción animal y bienestar del hombre*. VI Congreso Intnal. de Manejo de Pastizales, 1ra Reunión de Manejadores de Fauna Silvestre, 1er Encuentro Estatal de Ganaderos. Universidad Juárez del Estado de Durango. ISBN:978-607-503-183-5. 2015:384-388.
- Vega LMA, Quero CAR, Miranda JL, Silva LM, Villanueva AF, Plascencia JR. Producción de forraje en recursos genéticos de *Hymenachne* spp. En: Toca RJA et al. (compiladores). *Manejo de pastizales, conservación del pastizal, producción animal y bienestar del hombre*. VI Congreso Intnal. de Manejo de Pastizales, 1ra Reunión de Manejadores de Fauna Silvestre, 1er Encuentro Estatal de Ganaderos. Universidad Juárez del Estado de Durango. ISBN:978-607-503-183-5. 2015:389-392.
- Villanueva AJF, Rubio CJV, Herrera CF, Plascencia JR. Desarrollo de vaquillas de reemplazo en un sistema silvopastoril de *Andropogon gayanus* Kunth y *Leucaena leucocephala*. V Reunión Nacional sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles. Mayo. Nvo. Vallarta, Nayarit. 2010:156-161.

Villanueva AJF, Herrera CF, Cárdenas SA, Rubio CJV. Comportamiento agronómico y tasas de crecimiento en cinco especies de *Tripsacum*. IV Congreso Internacional de Manejo de Pastizales y XXXIV Aniversario del Centro de Ganadería del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 2013:109-113.

Villanueva, AJF, Bustamante GJJ, Herrera CF, Rodríguez MLA. Degradabilidad in situ y contenido de energía de cinco especies de pasto *Tripsacum*. IV Congreso Internacional de Manejo de Pastizales y XXXIV Aniversario del Centro de Ganadería del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 2013:304-309.

Voisin AS, Gastal F. Nutrition azotée et fonctionnement agrophysiologique spécifique de légumineuses. In: Schneider A, Huyghe C editors Les Légumineuses pour des Systèmes Agricoles et Alimentaires Durables. Ed. Quae. RD 10, 78026 Versailles Cedex. ISBN: 978-2-7592-2334-3. 2015:79-138.

Volenc JJ, Nelson CJ. Forage crop management: Applications of emerging technologies. Heath ME et al. editors. Forages: The Science of grassland agriculture. 3° ed. Vol. 1. , Iowa, USA: Iowa State University Press; 1995:3-20.

Yang ZM, Sivaguru M, Horts WJ, Matsumoto H. Aluminum tolerance is achieved by exudation of citric acid from roots of soybean (*Glycine max*). *Physiologia Plantarum* 2001;(110):72-74.

# CAPITULO III

## ALIMENTACIÓN DEL GANADO BOVINO EN LAS REGIONES TROPICALES DE MÉXICO

Juan Carlos Ku Vera

Francisco Indalecio Juárez Lagunes

Germán David Mendoza Martínez

José Luis Romano Muñoz

Armando S. Shimada Miyasaka

### III.1 GRANDES PARADIGMAS

En la actualidad, la investigación científica en alimentación de bovinos está orientada a enfrentar el reto que la raza humana tendrá para alimentar a más de 9 millardos de personas en el año 2050, particularmente a través de un aumento en la productividad ganadera (carne, leche) por animal y por hectárea, pero con un bajo impacto sobre la biodiversidad, el componente suelo-agua y la emisión de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{CH}_4$ ). Es por esta razón que el esfuerzo de investigación en alimentación de bovinos en las regiones tropicales está dirigido hacia el incremento en la eficiencia energética y nitrogenada del ganado en pastoreo, con la consecuente reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como el metano y el óxido nitroso. Asimismo, la investigación científica está orientada hacia el desarrollo y la incorporación de diversas tecnologías en los sistemas de producción las cuales están encaminadas a incrementar la fermentabilidad ruminal de los pastos de mediana-baja calidad (para extraer la mayor cantidad de energía útil), así como a sincronizar la disponibilidad de los carbohidratos y de las proteínas en el rumen, para incrementar la eficiencia de uso de ambos nutrimentos, tanto en el rumen (mayor eficiencia de síntesis de proteína microbiana por kilogramo de materia orgánica fermentada), como en el animal (mayor eficiencia de utilización de la energía y proteína metabolizables absorbidas desde el tracto gastrointestinal). Es relevante revisar el papel que las tecnologías del ADN podrían aportar en la alimentación de los bovinos, para incrementar el crecimiento animal, esto es, la acumulación de masa muscular y tejido adiposo en el cuerpo, así como la calidad de los

productos de origen animal. No obstante lo anterior, resulta pertinente revisar en México el estado actual de la investigación sobre alimentación de bovinos en las regiones tropicales, con el fin de identificar áreas de oportunidad que puedan reflejarse en el corto plazo en un incremento en la productividad ganadera, evitando o reduciendo, la dispersión de las temáticas que los diferentes grupos de investigación abordan en centros de investigación, así como en universidades públicas, para concentrarse en los temas relevantes, con el fin de priorizar líneas de investigación que redunden en una mayor eficiencia de utilización de los limitados recursos económicos destinados a la investigación científica en ganadería bovina tropical en el país.

### III.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS ABORDABLES POR LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

La producción de carne y leche bovina depende en buena medida de las cantidades de energía y proteína metabolizables (EM, PM) absorbidas por día desde el tracto gastrointestinal (rumen, intestino delgado), y de la eficiencia de utilización de estos nutrimentos en el músculo y en el tejido adiposo, así como en la glándula mamaria para los procesos de síntesis en el ganado bovino. Es escasa la información disponible en México acerca de las cantidades de EM y de PM absorbidas por los bovinos en pastoreo en el trópico, y acerca de la eficiencia de utilización de estos nutrimentos para las diferentes funciones fisiológicas (mantenimiento, crecimiento, gestación, síntesis de

leche). En ruminantes, la síntesis de proteína en el músculo depende del suministro de amino ácidos provenientes de la proteína microbiana sintetizada en el rumen, así como de aquéllos provenientes de la proteína alimentaria que no fue degradada en este órgano, y que son absorbidos en el intestino delgado (esto es, de la proteína metabolizable); así como del recambio de proteína (síntesis vs. degradación) en el cuerpo del animal. El recambio de proteína y grasa en el cuerpo del bovino es el proceso que va a determinar la tasa de acumulación diaria de músculo y tejido adiposo en el animal (i.e. la ganancia de peso). La eficiencia de utilización del nitrógeno para la síntesis de leche es baja, siendo en promedio este valor de alrededor del 25 % (rango: 18-45), existiendo por tanto, potencial para incrementar este proceso. Es preciso revisar la evidencia acumulada a través de los años en la literatura científica sobre alimentación de bovinos, para de ahí enfocar hacia dónde se debe dirigir el esfuerzo de investigación en el país, en un periodo en el que los recursos para la investigación científica son limitados.

Las unidades de producción de ganado bovino de carne y leche en las regiones tropicales de México se caracterizan por ser de tipo extensivo, en las cuales se emplean vastas extensiones de tierra para el cultivo de pastos nativos e introducidos. La alimentación del ganado bovino bajo dichas condiciones se basa en el pastoreo de especies de pastos introducidos tales como el Guinea (*Panicum maximum*), Estrella de Africa (*Cynodon nlemfuensis*), Buffel (*Cenchrus ciliaris*), Insurgente (*Brachiaria brizantha*), así como de corte: *Pennisetum purpureum*, entre muchos otros. Los pastos tropicales son cultivados principalmente bajo condiciones de temporal, aunque el riego es una de las tecnologías empleadas por algunos productores. Existen fluctuaciones en el rendimiento (toneladas de materia seca por hectárea), composición química (proteína cruda, fibra detergente neutra) y calidad (digestibilidad de la materia seca) de los pastos a través del año, debidas en buena medida a las variaciones en la precipitación pluvial y al fotoperiodo. Se presentan tres estaciones a través del año: la de secas, la de lluvias y la de nortes. Durante la estación de secas generalmente hay disponibilidad de pasto seco, el cual tiene una baja concentración de proteína cruda (<7%), una alta concentración de fibra detergente neutra (~80%), una baja degradabilidad ruminal de la materia seca (~45%) y como resultado de lo anterior, una baja concentración de energía metabolizable (<7 MJ/kg materia seca) y bajo consumo de alimento (kilogramos de materia seca por día). La producción de carne y leche bovina en

sistemas de producción extensivos (doble propósito; vaca-becerro) depende de varios factores, de los cuales uno de los más importantes es la cantidad de materia seca consumida por el ganado en pastoreo. Durante la estación de secas al reducirse la calidad (composición química, digestibilidad) y la cantidad de pasto disponible, el consumo de materia seca se reduce, lo que causa que los bovinos tengan dificultad para alcanzar a cubrir sus requerimientos de energía metabolizable (EM) para el mantenimiento y la ganancia de peso, lo cual resulta en un balance energético negativo, y por lo tanto en ganancias de peso limitadas o en pérdidas de peso, hecho que retrasa el tiempo (meses) en que los bovinos en crecimiento/finalización alcanzan el peso de sacrificio (470-500 kg); el hato de cría, el retorno al estro después del parto o en una baja producción de leche. A pesar de que se han logrado avances considerables en el conocimiento de los factores que limitan la producción bovina tropical, la ganadería en estas regiones de México aún mantiene una baja productividad por unidad de superficie, por lo que es necesario realizar acciones que contribuyan al incremento en la eficiencia de la utilización de los nutrimentos (energía, proteína) en dichos sistemas productivos, particularmente a través de la incorporación de tecnologías que revertan varias de las limitantes propias de las pasturas tropicales.

### III.2.1 PRODUCCIÓN DE CARNE BOVINA EN PRADERAS TROPICALES EN MÉXICO

México posee un inventario de ganado bovino de alrededor de 33 millones de cabezas, millones de las cuales pastan en praderas tropicales. Sin embargo, la productividad es baja. Los resultados de productividad animal (ganancia de peso, producción de carne por hectárea) descritos posteriormente, se obtuvieron en experimentos con bovinos alimentados exclusivamente bajo condiciones de pastoreo (sin suplementación alimenticia) y sin la realización de prácticas de riego o fertilización de los pastos. Los primeros estudios de comportamiento de los bovinos en México se publicaron en las revistas Agricultura Técnica en México y en Técnica Pecuaria en México (hoy Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias), así como en las revistas: Agrociencia, Revista Mexicana de Producción Animal y Veterinaria México, entre otras.

Hace más de 50 años, se evaluaron cinco pastos tropicales (de julio de 1963 a enero de 1964) en periodo de crecimiento durante la estación de lluvias, con novillos Cebú (240 kg de peso vivo; dos

años de edad) en un sistema de pastoreo continuo en Cotaxtla, Veracruz (clima tropical semi-húmedo) (Cuadro 1).

Pasto	Carga animal (No. de novillos/ha)	Ganancia de peso diaria (g/novillo)	Producción de carne (kg /ha/año)
Guinea	2.57	426	157
Jaragua	4.13	278	190
Pará	2.52	518	223
Alemán	3.65	497	280
Pangola	3.61	620	406

(Arroyo y Teunissen, 1964).

Se documentó que con una carga animal intermedia (3.61 novillos/ha), el pasto Pangola (*Digitaria decumbens*) resultó en la mayor producción animal. También se observó que la ganancia de peso fluctuó entre 278 y 620 g/novillo/día y la producción de carne por hectárea entre 157 y 406 kg. Es probable que los novillos tuvieran el mayor consumo de materia seca, energía metabolizable y proteína cruda con la carga animal (intermedia) de 3.61, lo cual permitió a los animales un consumo suficiente de nutrimentos (EM, PM) para fines de almacenamiento de proteína (músculo) y grasa en el cuerpo (ganancia de peso). En un experimento posterior, llevado a cabo durante la época de lluvias con novillos Cebú (280 kg de peso; 36 meses de edad) en Cotaxtla, Veracruz (Cuadro 2), se observó que el pasto Pangola resultó en la mejor productividad animal.

Pasto	Carga animal (No. de novillos/ha)	Ganancia de peso diaria	Producción de carne (kg /ha/año)
Guinea	2.32	570	192
Jaragua	3.66	272	186
Pará	2.05	498	167
Alemán	3.06	487	190
Pangola	2.64	588	303

Teunissen, Arroyo y Garza, 1966.

El pasto Pangola resultó nuevamente en una mayor producción animal con una carga intermedia (2.64 novillos/ha), y cuando la carga se incrementó por arriba de 3, la ganancia de peso y la producción de carne se redujeron. Desde aquellos años, se conocía la composición química del pasto Pangola, mencionando que la concentración de proteína cruda fluctuaba desde 4.86 hasta 13.21 % dependiendo del manejo (fertilización).

En un estudio posterior se evaluaron a los pastos Jaragua y Pangola con novillos criollos encastados con Cebú (de 250 kg de peso) en pastoreo rotacional (3.86 y 2.91 unidades animales por hectárea respectivamente) durante las temporadas de lluvia de 1966 y 1967 en Cotaxtla, Veracruz, reportando que las ganancias de peso diarias fluctuaron entre 276 y 367 g y la producción de carne entre 147 y 175 kg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> para los pastos Jaragua y Pangola respectivamente. Estos autores concluyeron que las diferencias entre los años se debieron a la cantidad y distribución de la precipitación pluvial, siendo menor ésta para el año de 1966.

La calidad de los pastos disponibles durante la estación de secas es insuficiente para mantener niveles adecuados de producción animal compatibles con las demandas de calidad de la carne de los mercados actuales (canales pesadas de animales jóvenes, suavidad y jugosidad de la carne, marmoleo).

Pasto	Sistema de pastoreo	Carga animal (No. de toros/ha)	Ganancia de peso/toro/día (g)	Producción de carne/ha (kg)
Guinea	Rotacional	1.5-2.0	308	192
Buffel	Rotacional	1.5-2.0	396	250

Molina, Garza y Torres, 1976.

El Cuadro 3 muestra las modestas ganancias de peso (308-396 g/animal/día) obtenidas en toros en pastoreo de los pastos Guinea y Buffel en Tizimín, Yucatán.

Durante la estación de secas generalmente está disponible pasto seco, el cual tiene una baja concentración de proteína cruda, una alta concentración de fibra detergente neutra (Cuadro 4), una baja digestibilidad aparente de la materia seca y como resultado de lo anterior, una baja concentración de energía metabolizable, dando lugar a un bajo consumo de materia seca.

Pasto	Materia seca (%)	Proteína cruda (%)	Fibra detergente neutra (%)
Guinea ( <i>Panicum maximum</i> )	92.28	3.75	77.55
Guinea ( <i>Panicum maximum</i> )	79.38	2.59	77.92
Insurgente ( <i>Brachiaria brizantha</i> )	35.44	6.62	70.14
Taiwán ( <i>Pennisetum purpureum</i> )	35.52	5.44	77.93
Taiwán ( <i>Pennisetum purpureum</i> )	59.05	4.49	71.91

Los resultados de los análisis químicos realizados a los pastos Guinea (*Panicum maximum*), Insurgente (*Brachiaria brizantha*) y Taiwán (*Pennisetum purpureum*) en Yucatán (Cuadro 4), indican que durante la estación de secas, la concentración de proteína cruda fue baja (rango: 2.59-6.62 %) y limitante para el aprovechamiento en el rumen de la materia seca consumida, y la concentración de fibra detergente neutra fue alta (77 %), probablemente provocando un tiempo largo de retención de la fibra en el rumen, lo cual reduce el consumo de pasto por el animal, y por la tanto la producción de carne. Los microorganismos que habitan en el rumen no tendrían disponible, bajo tales circunstancias, suficiente nitrógeno (N-NH<sub>3</sub>) para poder aprovechar con eficiencia el pasto consumido. Bajo tales condiciones, la suplementación del ganado bovino con fuentes de nitrógeno fermentable en el rumen (urea, follajes de *Brosimum aliscastrum* o de *Leucaena leucocephala*) es necesaria para proporcionar los nutrimentos que los microorganismos requieren para la fermentación ruminal del pasto consumido. No obstante, durante la época de lluvias, debido a la disponibilidad de pasto de buena calidad, la degradabilidad ruminal de los pastos tropicales puede ser alta y bajo tales circunstancias, no existe un efecto de la suplementación nitrogenada sobre la degradabilidad ruminal de la materia seca.

En un rancho comercial localizado en Tizimín, Yucatán; se encontró que en ganado bovino en crecimiento, la ganancia de peso por día y la producción de carne se reducían conforme se incrementaba la carga animal de 1.4 a 4.2 UA/ha (Cuadro 5).

Cuadro 5. Producción de carne en bovinos en pastoreo en el Oriente de Yucatán			
	Carga animal (UA/ha)		
	1.4	2.8	4.2
Ganancia de peso g/cabeza/día	341	3	-32
Producción de carne por ha (kg en 120 días)	63.5	1.5	-21.1

Flores Chuc, 2009.

Se observó que con una carga animal de 1.4 unidades animal por hectárea sólo se obtienen ganancias de peso modestas (341 g/cabeza/día) en la ganadería tropical de México, que en esencia son comparables a las obtenidas hace más de 50 años en la ganadería de la región tropical de Veracruz. Poco ha cambiado la productividad de la ganadería bovina mexicana en medio siglo, y esto es incompatible con la necesidad de ser autosuficientes en la producción de proteínas de origen animal y poder responder a las crecientes demandas de carne y leche de una población en constante aumento.

En contraste, en un sistema silvopastoril resultado de la asociación de *Panicum maximum* con *Leucaena leucocephala* sembrada a una densidad de 35,000 plantas (de leucaena) por hectárea, se reportó una ganancia de peso de 765 g por día en toros en crecimiento en la Tierra Caliente (Apatzingán) de Michoacán. Es así como bajo condiciones de ganadería extensiva, la composición química pobre, los bajos consumos de materia seca y de energía metabolizable, limitan la ganancia de peso de los bovinos en pastoreo, por lo que se recomienda la suplementación durante las épocas críticas para evitar las pérdidas de peso en el ganado, o en su defecto, la implementación de sistemas silvopastoriles, mismos que contribuyen a incrementar el comportamiento animal.

En Colombia, en una asociación de gramíneas tropicales con *Leucaena leucocephala*, reportaron una ganancia de peso de 830 g/cabeza/día, lo que se explica en parte, debido al menor gasto energético por actividad física (caminar) en el sistema silvopastoril, y por el mejor confort animal (menor temperatura corporal) en este sistema con relación al tradicional-extensivo, así como a la mejor calidad y degradabilidad ruminal del follaje consumido. Los sistemas silvopastoriles (con *Leucaena leucocephala*) también ejercen un impacto benéfico en aspectos tales como la captura de carbono, la fijación de nitrógeno atmosférico y la reducción en las emisiones del metano eructado por los bovinos, por lo que tienen menor impacto sobre el ambiente, que los sistemas de monocultivo de gramíneas, tradicionales de la ganadería extensiva tropical.

Cuadro 6. Producción de carne bovina en un rancho tradicional extensivo y en un rancho holístico en la región Frailesca de Chiapas		
Variable	Tipo de rancho	
	Tradicional/extensivo	Holístico
Superficie del rancho (ha)	38.3	88.3
No. de animales	58.6	203.6
Carga animal (UA/ha de pasto)	1.9	3.2
Producción de carne (kg/ha/año)	262	1084

Ferguson *et al.*, 2013.

Se ha propuesto que la ganadería bovina de tipo holística es una mejor opción productiva que la ganadería tradicional extensiva; algunos de los resultados obtenidos en Chiapas, se pueden observar en el Cuadro 6: la producción de carne por hectárea en el sistema holístico es unas tres veces superior a la producción en sistemas ganaderos tradicionales o extensivos. El Cuadro 7 muestra claramente que el almacenamiento de carbono y la fijación de nitrógeno (N) son superiores en los sistemas ganaderos que incorporan árboles y bancos de proteína en los potreros.

Cuadro 7. Efecto del tipo de sistema productivo y cobertura vegetal sobre el almacenamiento de carbono, la fijación de nitrógeno y la producción bovina en Chiapas, México			
	Monocultivo de <i>Cynodon plectostachyus</i>	Cerco vivo, árboles esparcidos y <i>Cynodon plectostachyus</i>	Cerco vivo, árboles esparcidos, banco de proteína y <i>Cynodon plectostachyus</i>
Almacenamiento de carbono (mg/ha)	13.1	23.4	27.1
Fijación de N (kg/ha/año)	-	0.40	51.6
Bienestar animal (%)	65.9	75.9	86.0
Producción de leche durante la estación de lluvias (l/vaca/día)	4.0	4.75	5.0
Becerras (No./ha/año)	0.47	0.56	0.63

Nahed-Toral *et al.*, 2013.

En este mismo tenor, en Chiapas, se ha demostrado la mejor calidad de la dieta consumida por bovinos pastoreando en una asociación de pasto *Cynodon plectostachyus* con árboles forrajeros (*Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia*), que un monocultivo del mismo pasto, observando la menor degradabilidad ruminal de la materia seca en el monocultivo (36.85 %) comparada con aquella obtenida en la asociación (55.80 %) durante la estación de secas.

### III.2.2 ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL GANADO BOVINO EN PASTOREO EN EL TRÓPICO

Es de gran importancia que los bovinos en pastoreo consuman la mayor cantidad posible de materia seca (alrededor del 3 % del peso vivo) para cubrir sus requerimientos de nutrimentos (EM, PM) para una ganancia de peso o producción de leche, acorde con los objetivos del ganadero. La correcta alimentación del ganado en pastoreo presenta retos a cubrir por parte del técnico en cuanto a formulación de suplementos que contribuyan a resolver la problemática (baja fermentabilidad ruminal de la fibra detergente neutra y baja concentración de NH<sub>3</sub> en el rumen) que la producción ganadera enfrenta bajo condiciones tropicales. Recientemente se han propuesto algunos mecanismos que pueden ayudar a explicar los factores que determinan el consumo de pasto en bovinos en pastoreo, entre ellos la teoría de la oxidación hepática y el papel de hormonas tales como la leptina y la grelina en la regulación del consumo. Se han esbozado algunas de las limitantes que enfrentan los sistemas de alimentación del ganado bovino lechero en pastoreo, en particular aquellas relacionadas con los efectos asociativos de los alimentos, el efecto de sustitución, la sincronía de los nutrientes en el rumen, entre otros. Varios investigadores han proporcionado información relativa al consumo de materia seca y la conducta ingestiva de bovinos en pastoreo en Yucatán y en Veracruz. Recientemente, se reportó que el consumo de forraje de *Leucaena leucocephala* en un sistema silvopastoril (asociación con *Cynodon nlemfuensis*) fue del 34 % del consumo total de materia seca de los forrajes. Otro de los temas relevantes a la investigación en alimentación del ganado bovino en las regiones tropicales, lo constituye las emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente metano y óxido nítrico, que los ruminantes eructan hacia el ambiente. Quizás una de las opciones más viables para reducir estas emisiones sea

a través del uso del follaje y los frutos de árboles y arbustivas, que contienen taninos condensados o saponinas. Existe poca información en México sobre el consumo de pasto de los bovinos en pastoreo en praderas tropicales, así como sobre la reducción en las emisiones de metano por medio del uso de metabolitos secundarios de las plantas tropicales, y poco se han estudiado las necesidades energéticas y proteicas de las vacas de doble propósito. Existe escasa información sobre la degradabilidad ruminal de la proteína cruda de los pastos tropicales, aunque existe información sobre la composición química de árboles y arbustos.

### III.2.3 EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE LOS FORRAJES TROPICALES EN RUMIANTES

El avance en el conocimiento del valor nutritivo de los forrajes tropicales para los bovinos ha estado supeditado a los desarrollos tecnológicos en los equipos y metodologías que se emplean. En 1967 mediante el sistema de análisis con detergentes se discontinuó el análisis proximal para describir la fibra (fibra cruda) y los carbohidratos (extracto libre de nitrógeno) de los forrajes. Con las fracciones detergentes de fibra se logra una mejor descripción y cuantificación de la fibra y los carbohidratos fibrosos en las dietas. En 1992, por medio del modelo computacional Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS por sus siglas en inglés), se sustituyó el valor estático y empírico de digestibilidad de la dieta y sus ingredientes a tiempo fijo, por valores dinámicos de tasas de digestión, y mecanísticos de nutrimentos digestibles totales (TND por sus siglas en inglés). Así como también, el valor de proteína cruda por cinco fracciones nitrogenadas de acuerdo a su solubilidad en el rumen. De tal forma que los procedimientos de laboratorio más aceptados para evaluar nutricionalmente los forrajes tropicales son: carbohidratos y sus fracciones, materia seca, cenizas, extracto etéreo, fibra detergente neutra, lignina, proteína cruda, proteína cruda insoluble en detergente neutro, y proteína cruda insoluble en detergente ácido. Adicionalmente para, proteína y sus fracciones: proteína soluble, y nitrógeno no proteico.

Actualmente la tecnología de espectroscopía de reflectancia en el cercano infrarrojo (Near Infrared Reflectance Spectroscopy, NIRS); permitirá determinar la composición química–nutricional de los forrajes en tiempo real y a un menor costo. De la misma manera, los equipos y métodos para medir las emisiones de metano, nitrógeno y fósforo

empiezan a ser aplicados a la ganadería tropical. Ante este panorama, en México se empezaron a evaluar nutricionalmente los pastos tropicales bajo la estructura del CNCPS.

## III.3 ESTADO DEL ARTE

En las vastas regiones tropicales de México, la composición química del forraje y su rendimiento (kilogramos materia seca/hectárea), afectan directamente a la producción animal, ya que es la fuente primordial de los insumos requeridos de energía y proteína. Para lograr las metas de productividad del sistema ganadero se hace necesario aumentar, así como maximizar la utilización de los forrajes y la extracción de energía de los mismos por los rumiantes. La plataforma CNCPS es una herramienta apropiada para apoyar las decisiones de manejo de alimentación. Sin embargo, su aplicación en sistemas tropicales requiere de bases de datos adecuadas en cuanto a la calidad nutritiva de los forrajes. Los análisis químicos son sólo un paso intermedio para la obtención de las fracciones nutricionales.

El principal enfoque en los protocolos de análisis nutricional de los forrajes está en el fraccionamiento de la proteína y los carbohidratos de acuerdo a la estructura del CNCPS. Es por esto que en México los estudios se han centrado en evaluar el cambio en las fracciones de carbohidratos y proteínas de los pastos y leguminosas tropicales. Los factores considerados incluyen al efecto de medio ambiente, especie, edad de utilización, estación del año, y el manejo agronómico. Se han evaluado las principales especies de pastos introducidos: Brachiarias, Pennisetums, Megathyrus (Panicums), Cynodones, entre otros. Cuando la precipitación pluvial es menor a 100 mm por mes, estos pastos no crecen. La proteína verdadera soluble (PVS) y los carbohidratos totales (CHO) son las dos variables de composición nutricional más sensibles a factores ambientales, de rendimiento, y de manejo. Los pastos excelentes contienen  $\geq 75\%$  CHO y  $\geq 6.5\%$  PVS; los buenos contienen  $\leq 75\%$  CHO y  $\geq 6.5\%$  PVS; los regulares con  $\geq 75\%$  CHO y  $\leq 6.5\%$  PVS; y los pobres con  $\leq 75\%$  CHO y  $\leq 6.5\%$  PVS. Sólo el 12 % de los pastos se pueden clasificar como excelentes y se presentan principalmente en la época de lluvias. Los buenos se manifiestan en invierno, los regulares al inicio de lluvias y los malos en lluvias tardías y secas. Por especie, los pastos de mayor a menor calidad son: Mulato, Insurgente, Dictyoneura, Maralfalfa y Mombaza. La fertilización con N y con riego en invierno y secas mejora en un 170 % el rendimiento de materia seca (MS).

En una colección de seis leguminosas cortadas cada 45 días de rebrote (*Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Cratylia argentea*, *Flemigia spp*, *Arachys pintoi*, *Pueraria phaseoloides*) se encontró que alrededor de un 65 % de la MS son carbohidratos repartidos en una relación 50:50 entre carbohidratos no fibrosos (CNF) y fibrosos (CF). Los CNF son los de mayor calidad por su completa disponibilidad en el rumen. De estos, la fracción CB1 (principalmente fibra soluble y almidón) es la más importante en leguminosas, quizá por su abundancia en pectinas. Otra característica distintiva de las leguminosas tropicales es que la contribución de carbohidratos fibrosos digestibles (CB2) es la menos importante. A diferencia de las gramíneas en las que esta fracción es la de mayor importancia y variabilidad. El contenido de proteína cruda en leguminosas tropicales es del 24 % en promedio.

La relación entre la proteína verdadera (PV) y el nitrógeno no proteico (NNP) es de casi 80:20. En estos forrajes, la fracción más importante de la PV es la proteína verdadera de solubilidad rápida e intermedia (NB1+NB2). Dado que esta fracción es completamente disponible en el rumen, se espera que la calidad de la proteína cruda sea alta. Por tanto las leguminosas tropicales constituyen una fuente importante de carbohidratos no fibrosos y proteína soluble para los rumiantes. De estos trabajos se puede resumir que la estructura del CNCPS sería útil para estimar los valores nutritivos de los pastos tropicales. La PVS y los CHO son las variables nutricionales probablemente más sensibles a efectos ambientales, de especie y de manejo. Con información complementaria de características del grupo de manejo animal se puede estimar la concentración de energía metabolizable y la proteína metabolizable de los pastos tropicales, con el objetivo de desarrollar estrategias más mecánicas de manejo nutricional para la ganadería bovina tropical.

En México el primer trabajo en este sentido se publicó en 1999 (Cuadro 10). Se utilizó la metodología del CNCPS para caracterizar las fracciones de carbohidratos y proteínas, así como las tasas de digestión, de varios pastos tropicales cultivados en Veracruz. Se encontró que con valores adecuados de composición química y tasas de digestión de los pastos, y descripciones confiables de condiciones ambientales y animales, se pudo predecir los contenidos de energía metabolizable y proteína metabolizable de los pastos para producción de leche con ganado cruzado europeo x cebú en sistemas de producción de doble propósito en clima tropical.

A través de tres trabajos utilizando el CNCPS, se evaluaron las limitaciones y potencialidades de los forrajes en la Región del Golfo de México, considerando las variaciones estacionales y de grupos de animales de una manera dinámica. El primero de ellos evaluó al pasto Guinea (*Panicum maximum*) y el Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*) sobre el crecimiento hasta el primer parto de vaquillas de reemplazo (Suizo Americano x Cebú) en zona de pie de montaña en el estado de Veracruz (cálido húmedo); los resultados indican que estos pastos presentan deficiencias de proteína metabolizable que limitan el crecimiento, retrasan la maduración y por consiguiente la edad al primer parto de las vaquillas. La suplementación estratégica con *Leucaena leucocephala* durante todo el período de crecimiento y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) durante los períodos de escasez de forraje (sequía), condujo a reducir la edad al primer parto de 38 a 30 meses y con mejor condición corporal asegurada.

En un segundo trabajo complementario encontraron que el pasto Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*) y el pasto Llanero (*Andropogon gayanus*), para vacas de doble propósito pastoreando en la planicie costera central del estado de Veracruz (cálido sub-húmedo), presentan deficiencias de energía metabolizable durante todo el año, que ocasionan deficiencias crónicas de energía que: retrasan el crecimiento de vacas inmaduras, ocasionan balance energético negativo antes del parto, reducción en la producción de leche y períodos abiertos más prolongados. La suplementación estratégica con leguminosas (*Leucaena leucocephala*) y heno de pasto Mulato (*Brachiaria ruziziensis* x *Brachiaria brizantha*) en época de sequía, propició el incremento de la productividad en un 60 % en vacas inmaduras y en un 80 % a lo largo de una vida productiva de tres lactaciones.

En el tercer estudio se evaluaron los pastos Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*) y Guinea (*Panicum maximum*) bajo condiciones de Tizimín, Yucatán (cálido seco) en un sistema vaca-becerro con ganado Brahman, encontrando que la estacionalidad en la disponibilidad del forraje así como su baja calidad, ocasionan severas deficiencias de energía metabolizable en vacas desde el último tercio de gestación y durante la lactación. Las consecuencias son que: las vacas frecuentemente desvían energía de reservas corporales para asegurar el crecimiento fetal; al inicio de la lactación movilizan un cuarto de la energía para lactación de las reservas corporales; la condición corporal es  $\leq 2.5$  (escala de 1 a 5) a mitad

de la lactación; baja fertilidad y periodos entre partos prolongados. La suplementación con melaza y pollinaza no fue suficiente para cubrir las deficiencias de forrajes de baja calidad.

Una limitante para hacer extensivas las tecnologías nutricionales con los servicios de asistencia técnica a los productores, es el análisis químico en el laboratorio de nutrición de las muestras de forrajes. Ya que los análisis son costosos, y demandan mucho tiempo y mano de obra especializada, se requiere del desarrollo de métodos de rápida determinación de la calidad del forraje, de tal manera que el ganadero (y el técnico) puedan recibir oportunamente los resultados de sus muestras. El NIRS cubre esa necesidad, pero las ecuaciones de calibración para pastos tropicales no están disponibles todavía. Sin embargo, se está trabajando en esta temática. El Centro Nacional de Investigación Disciplinaria (CENID)–Fisiología del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (en Querétaro), ha desarrollado ecuaciones NIRS con el equipo Thermo Scientific Nicolet™ 6700 (Thermo Electron Corp., Madison, Wiconsin, USA) para estimar el contenido de proteína cruda, proteína degradable y la digestibilidad *in vitro* de los pastos tropicales, y también está trabajando para desarrollar ecuaciones para leguminosas tropicales, en las que las ecuaciones de calibración, particularmente las de fracciones de proteína B1, B2 y B3 no son suficientemente precisas. Se requiere del trabajo colaborativo con otras instituciones de investigación, inclusive de otros países, para tener bases de datos completas y así poder lograr la precisión requerida en las ecuaciones de calibración. Una limitante es que aunque otros países estén trabajando en el mismo sentido, las bases de datos no son uniformes en cuanto a las especies y los análisis de laboratorio realizados, y los equipos NIRS son diferentes e incompatibles.

Por otro lado, falta validar las predicciones que hace el CNCPS con relación a la excreción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) e inclusive de metano por el ganado en sistemas doble propósito y de carne consumiendo forrajes tropicales. Para este último se requiere de equipos confiables para hacer las determinaciones de metano bajo condiciones de pastoreo (técnica de hexafluoruro de azufre; SF<sub>6</sub>).

Estudiando algunas características de la composición química de los pastos de Veracruz, los investigadores concluyeron que existen no solo diferencias en la composición química, sino también en la disponibilidad de las fracciones potencialmente nutritivas de los pastos tropicales para los bovinos en las regiones tropicales de México (Cuadro 8).

Es importante que el ganado en pastoreo consuma pastos con una alta digestibilidad aparente de la materia seca para lograr ganancias de peso satisfactorias. El potencial para incrementar la productividad de la ganadería tropical depende en buena medida de la eficiencia en la utilización del nitrógeno absorbido (como amino ácidos) desde el intestino delgado y de la minimización de las pérdidas de nitrógeno en las heces y la orina (urea), así como de la reducción en el gasto energético debido a la actividad física (caminar). La inexistencia de información sobre las variables arriba anotadas en la ganadería tropical de México apunta a que se deben de realizar esfuerzos de investigación para obtener dicha información, e incorporarla en prácticas de manejo orientadas a mejorar la productividad de la ganadería tropical del país.

Cuadro 8. Fracciones de carbohidrato y proteína y tasas de digestión de algunos pastos tropicales cosechados en Veracruz					
	Pasto				
	<i>Cynodon plectostachyus</i>	<i>Digitaria decumbens</i>	<i>Andropogon gayanus</i>	<i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Panicum maximum</i>
Materia seca %	26.7	26.8	25.0	23.0	22.5
FDN % MS	74.7	70.0	70.2	66.1	69.3
Lignina % FDN	7.5	7.3	6.1	5.6	6.2
PC % MS	8.0	7.0	8.6	8.9	7.4
Solubilidad % de la PC	35.6	36.7	20.4	42.5	31.0
Extracto etéreo % MS	1.3	1.8	2.0	2.3	2.5
Ceniza % MS	9.0	8.0	8.0	9.3	11.0
FDN no disponible % MS	13.4	12.3	10.3	8.9	13.3
FDN disponible % MS	58.1	55.5	55.7	56.0	56.4
Tasa de digestión %/h					
Carbohidrato no estructural % MS (CHO A + B1)	13.2	22.4	13.8	27.4	8.6
FDN disponible (CHO B2)	3.8	5.2	7.3	8.4	6.8

Juárez-Lagunes *et al.*, 1999.

### III.3.1 VALOR ENERGÉTICO DE LOS ALIMENTOS Y REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA DEL GANADO

Existe poca información acerca de la eficiencia del uso de la energía metabolizable para el mantenimiento, la ganancia de peso o la producción de leche en las regiones tropicales de México. La Figura 1, claramente demuestra la respuesta del ganado bovino al aumento en el consumo de EM en el rango 400-1200 kilojoules/kg<sup>0.75</sup>/día con diferentes suplementos cuando es alimentado con pastos tropicales. No existe información comparativa de este tipo en México. No obstante, las posibilidades de incrementar la retención de la energía en la proteína y la grasa en el cuerpo son buenas, como se ha demostrado en ganado *Bos indicus* (y sus cruzas con razas *Bos taurus*) en otros países. La eficiencia energética del sistema vaca:becerro ha sido determinada para algunas razas y cruzas del trópico latinoamericano. El uso de vacas de las cruzas más eficientes desde el punto de vista energético (menor requerimiento de EM para el mantenimiento, resultará en una mayor producción de kilogramos de becerro destetado, aunque se han propuesto algunas opciones para incrementar la eficiencia de las vacas, así como manipular las estrategias de alimentación con el fin de reducir costos por alimentación.

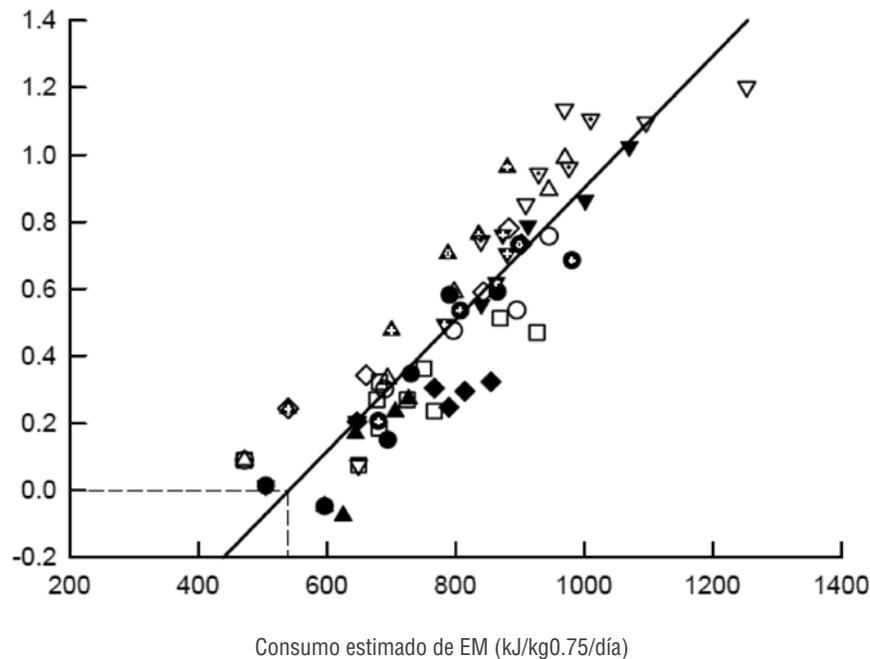


Figura 1. Relación entre el consumo de energía metabolizable y el cambio de peso vivo en bovinos (McLennan y Poppi, 2012)

La relación entre el consumo estimado de energía metabolizable y el cambio de peso vivo por día observado combinado de varios experimentos con novillos confinados, alimentados con henos de pastos tropicales de baja calidad y varios suplementos se observa en la Figura 1. La respuesta de los animales al consumo de EM sugiere que una de las mejores opciones para incrementar la productividad ganadera es incrementar el consumo de EM, proporcionando pastos en el momento (etapa fenológica) que contengan la mayor densidad energética por kilogramo de peso seco.

### III.3.2 ALIMENTACIÓN DE LA VACA DE DOBLE PROPÓSITO EN LAS REGIONES TROPICALES

Una realidad en la alimentación de la vaca de doble propósito en las regiones tropicales es la estacionalidad en la disponibilidad de materia seca, independientemente del pasto de que se trate. Se ha demostrado que aunque la producción anualizada de los forrajes tropicales puede ser buena, la variación estacional en la disponibilidad de materia seca no permite, biológicamente, mantener un número constante de cabezas por unidad de superficie, ya que el resultado será una variabilidad paralela en la productividad animal. El uso eficiente de los forrajes tropicales se da cuando, con base en la composición nutricional del material disponible, se establecen los sistemas adecuados de alimentación; lo cual, además, permite la planeación de estrategias dirigidas para la suplementación de materia seca, energía y proteína.

Se ha documentado la variación estacional en la composición de los forrajes tropicales, así como la variación debida al manejo de los mismos. Frecuentemente, el manejo no es el adecuado y, sin importar la época del año, se ofrecen forrajes que ya no están en su mejor etapa desde el punto de vista nutricional. Es bien entendido que un forraje entre más maduro está, la concentración de fibra detergente neutra y lignina se incrementan lineal y paralelamente, la concentración de proteína cruda disminuye sustancialmente, lo cual tiene una repercusión directa y negativa sobre el consumo de materia seca y la digestibilidad de la misma; factores que resultan en una disminución en la productividad del ganado. Esta situación es crítica en vaquillas en crecimiento, ya que el consumo se limita no sólo por la mala calidad del forraje sino que también se limita por la menor capacidad de consumo, debido al mayor tiempo de retención de la digesta en el rumen. En el caso de la vaca y su cría, la variabilidad de la disponibilidad de forraje se refleja no sólo en una baja producción de leche y pobre crecimiento del becerro, sino también en una reproducción

comprometida. Cuando se analiza la información de la producción anual de materia seca, se puede presuponer que las zonas tropicales tienen un gran potencial forrajero para lograr resultados muy favorables; sin embargo, para poderlo concretar se debe de considerar la estacionalidad en la producción de dicho forraje, y la variabilidad en la calidad dependiendo de su etapa fenológica.

En el Cuadro 9 se pueden observar los modestos rendimientos que se obtienen en los sistemas de producción de leche de doble propósito en México, mismos que fluctúan entre 3 y 12 litros por vaca al día.

Cuadro 9. Características básicas de los sistemas de producción lechera en México				
Característica	Especializada semi-especializada	Familiar	Doble propósito	
Vacas (cabezas)	300-400	180-200	2-10	30-30
Días de lactancia	305	280-305	210-260	120-180
Producción de leche (L/vaca/día)	20-27	18-20	6-12	3-9

Rojo *et al.*, 2009.

El Cuadro 10 muestra la modesta productividad de la ganadería de doble propósito en Latinoamérica, evidenciada por un valor más frecuente de producción de leche por vaca al día de sólo 4.0 kg.

El incremento de la productividad de los sistemas de doble propósito depende del suministro de alimentos de buen valor nutritivo para la vaca lactante. Bajo estas circunstancias, los sistemas silvopastoriles se presentan como una opción viable para la producción ganadera bajo las condiciones de producción de las regiones tropicales.

Independientemente de la estación de parición, la mayor parte de las hembras de pie de cría sufren de deficiencia en el consumo de energía metabolizable, principalmente al final de la gestación y al inicio de la lactancia, situación que las predispone a lactancias poco productivas y con menores probabilidades de un retorno a la actividad ovárica en el posparto temprano; por lo tanto, el eje principal para incrementar la productividad del ganado de doble propósito está en la mejora del aspecto nutricional y, consecuentemente, reproductivo de la vaca.

En un trabajo se analizó la producción de leche y el crecimiento del becerro de animales cebuinos y sus cruza con Holstein, Pardo Suizo y Simmental. Los animales se alimentaron con base en gramíneas tropicales y suplementados con mezclas de sales minerales. En épocas de secas, los animales fueron complementados con forrajes conservados o frescos, y las vacas se suplementaron con alimento concentrado al momento de la ordeña. Aunque la producción diaria de leche de los animales resultantes de las cruza con Holstein y Pardo Suizo fue mayor a la producción de los animales cebuinos, ésta no sobrepasó los 8.4 kg. Paralelamente, la ganancia diaria de peso de las crías, ajustada a 205 días, fue de 565 g y de 442 g a los 365 días. Los resultados tanto de producción de leche como de crecimiento, pueden ser considerados como modestos, lo cual conduce a concluir que los animales no consumieron alimento en las cantidades necesarias y con la calidad adecuada de manera constante.

Cuadro 10. Algunos indicadores de productividad de los sistemas bovinos de doble propósito en el trópico latinoamericano		
Indicadores	Valor más frecuente	Amplitud
Producción de leche:		
Vaca/día, kg	4.0	2.8-6.5
Vaca/lactación, kg	1160.0	749-1589
Largo de lactación, días	290.0	244-311
Fertilidad:		
Edad al primer parto, m	37-0	32-43
Parición, %	64.0	39-81
Producción de carne:		
Peso al destete, kg	150.0	120-160
Ganancia de peso, g/día:		
Becerras	370	290-490
Post-destete	220	No determinado
Productividad por ha:		
Carga, UA	1.4	0.72-1.90
Kg leche/año	476.0	182-749
Kg carne/año	116.0	45-192

Vaccaro *et al.*, 1993.

La mejora en prácticas alimenticias promueve un aumento en la producción de leche. En un trabajo con bovinos con encaste creciente a genes de Pardo Suizo y Holstein y con prácticas alimenticias que iban desde el pastoreo en zacates Estrella de África y Guinea de temporal y sin fertilización, hasta el pastoreo en zacate Estrella de África, con riego, fertilización, con ofrecimiento de zacate de corte en corral y con ofrecimiento de subproductos locales como la pulpa de cítricos o de concentrado comercial, mostraron que la cantidad de leche vendida se incrementó de manera significativa conforme se mejoraron las prácticas culturales en los potreros y el aporte nutricional. De la misma manera, los animales con mejor aporte nutricional fueron los que perdieron menos condición corporal durante la lactancia. Estos resultados se pueden explicar en función de una mayor disponibilidad de energía metabolizable para el mantenimiento y la producción. En relación al nivel de encaste, reportan que los animales con encaste a *B.taurus* mayor al 25 % duplicaron la cantidad de leche vendida que los animales con encaste menor al 25 %. Sin embargo, las vacas con encaste mayor a *B.taurus* tuvieron mayores pérdidas de condición corporal durante la lactancia y mayores pérdidas por mortalidad de los becerros.

Algunos investigadores, analizando las curvas de lactancia en ganado Holstein x Cebú y Holstein x Sahiwal, pastando en praderas de Estrella de África y suplementadas con 2 kg de concentrado comercial de manera constante, reportaron que la producción de leche al inicio de la lactancia fue de 7.5 y 6.7 kg, respectivamente. El pico de producción de leche y los días para alcanzar dicho pico fueron 11.9 y 11.0 kg, a los 52 y 61 días, respectivamente; la curva producción de leche en estos animales mostró tendencias similares a la reportada para ganado especializado. Adicionalmente, encontraron una relación negativa entre la producción al inicio de la lactancia y la persistencia de producción. Este efecto podría ser explicado por diversos factores como el manejo, el ambiente y, por supuesto, factores alimenticios. En el último caso, el resultado se puede interpretar que aunque un animal pueda tener un buen potencial de producción, la alimentación posparto, cuantitativa y cualitativa, no permite la expresión completa de dicho potencial para mantener producciones aceptables durante toda la lactancia. Este efecto

se hace más manifiesto en animales de primera lactancia, los cuales, además, tienen que dirigir nutrientes para completar su crecimiento. Estos datos evidencian no solo la necesidad de mejorar el aporte de nutrientes (energía metabolizable, proteína metabolizable) en el ganado en pastoreo, sino que también muestran la necesidad de hacerlo racionalmente, considerando la etapa de la curva de lactancia para disminuir el riesgo de balance energético negativo.

La suplementación estratégica debe, sin lugar a dudas, considerar las fluctuaciones estacionales no sólo en la cantidad de materia seca producida, sino también en la composición nutricional de los forrajes disponibles; con base en tales consideraciones, se podrán diseñar alimentos que suplementen o complementen el forraje base, para obtener mejoras no solo en el comportamiento productivo, sino también en el comportamiento reproductivo.

La suplementación derivada de usos y costumbres regionales (concentrado con 18% de proteína cruda y 10.0MJ de EM), junto con la utilización de ordeño mecánico, a animales cebú encastados con Suizo Americano y Holstein, pastoreando sobre praderas de *Brachiaria brizantha* y Estrella de África, resultó en un incremento de 2 kg en la producción diaria de leche (de 5 a 7 kg/día). Sin embargo, la tasa de gestación a 120 días posparto fue de 30%, tanto en animales suplementados como en los no suplementados. Estos resultados permiten inferir que los requerimientos nutricionales, aun con la suplementación, no estaban cubiertos y que los animales estaban en balance energético negativo; por lo tanto, el reinicio de la actividad ovárica estaba comprometido.

Aparentemente, la suplementación con grasa de sobrepaso no beneficia la producción ni la reproducción de animales en pastoreo en zonas tropicales. Con el propósito de evitar el balance energético negativo posparto y su efecto detrimental sobre la producción y la reproducción, se alimentaron sin y con grasa de sobrepaso ruminal, ganado Holstein x Cebú pastoreando en praderas de zacate Estrella de África y suplementados con concentrado rico en proteína cruda (21.8%) y en energía metabolizable (12.5 MJ/kg materia seca). La producción de leche durante los primeros 98 días posparto fue similar entre tratamientos, el consumo de materia seca en potrero fue menor en los animales suplementados con grasa al inicio de la lactancia; no obstante, el consumo de concentrado, de proteína y energía metabolizable fue similar en los dos tratamientos, así como el balance de energía metabolizable. Sin embargo, a los 98 días posparto, los animales suplementados

con grasa de sobrepaso perdieron más condición corporal que los no suplementados. En el aspecto reproductivo, la tasa de gestación a 90 días no fue diferente entre tratamientos, siendo ésta de 42 y 33 % para los animales control y suplementados, respectivamente. Los autores concluyen que la suplementación con grasas protegidas no fue efectiva para mejorar el balance energético posparto; de la misma manera, el comportamiento reproductivo en vacas en pastoreo no se mejoró, debido a que, aparentemente, la adición de grasa protegida no promovió acciones para estimular la actividad ovárica.

La suplementación a animales en pastoreo con un concentrado rico en cereales mejora la respuesta productiva y reproductiva, pues al alimentar vacas Holstein x Cebú con un concentrado basado en grano de sorgo, con 17 % de proteína cruda, 11.7 MJ de EM, al 0.9 % del peso vivo, pastoreando en praderas de Estrella de África, pariendo en épocas de lluvias y secas. Los resultados mostraron que a través de la suplementación se incrementó el consumo de materia seca junto con la proteína cruda y la energía metabolizable; la producción de leche aumentó de 7.8 a 11.1 kg por día en las vacas suplementadas, las cuales, además, no sufrieron de un balance energético negativo. En el aspecto reproductivo, las vacas suplementadas mostraron signos de estro en mayor proporción que las no suplementadas y la tasa de gestación a los 90 días tendió a ser mayor en las primeras. Una respuesta similar fue reportada por otros investigadores, quienes suplementaron con concentrado basado en grano de sorgo a animales manejados en un sistema silvopastoril. Con base en estos resultados, se puede inferir que los productos de la fermentación ruminal de concentrados ricos en granos son más efectivos en estimular el eje hipotálamo-hipófisis-ovario para la reactivación reproductiva posparto.

Trabajos de simulación han demostrado que la producción de leche de vacas en primera lactación, alimentadas con zacates tropicales como alimento base, se ve afectada por diversos nutrimentos. Para empezar, el ofrecimiento único de pastos tropicales, aun asumiendo un consumo de materia seca adecuado, escasamente cubre los requerimientos necesarios para una producción modesta (4 a 6 kg de leche por día). La incorporación subsecuente de leguminosas, como la leucaena (*Leucaena leucocephala*), mejora el aporte de nutrientes, promueve una mayor actividad microbiana y mayor degradabilidad ruminal, lo que repercute en mejoras en la producción diaria de leche (7 a 9 kg). La suplementación adicional de fuentes energéticas,

como la melaza de caña y la pulpa de cítricos, potencialmente incrementa la respuesta animal, generando escenarios con producciones que oscilan entre los 8 y los 12 kg por día. Como adición final en estas simulaciones, se incluyeron granos de cervecera como fuente proteica, resultando en este caso producciones potenciales de más de 12 kg diarios de leche, manteniendo el crecimiento, la condición corporal y la actividad reproductiva. El mismo patrón de inclusión de suplementos para una vaca de cuarta lactación resultó en una esperanza de producción entre 13 y 14.5 kg diarios de leche. Es necesario mencionar que en este ejercicio de simulación, invariablemente la proteína metabolizable para la producción de leche era más limitante que la energía metabolizable para dicho fin productivo.

Si bien es cierto que la suplementación al pastoreo, en general, es errática e inconstante, existe un factor que suele ser todavía más errático e inconstante, y este es el caso de la suplementación mineral. Se sabe que las deficiencias minerales casi nunca son corregidas, ocasionando un problema nutricional que resulta en bajos crecimientos y limitada producción de leche, mayor frecuencia de problemas de salud y reproductivos.

Resumiendo, la estacionalidad climática resulta en una estacionalidad en la producción y disponibilidad de materia seca proveniente de forrajes. Adicionalmente, la calidad de los forrajes existentes en el trópico, generalmente, por las altas concentraciones de fibra detergente neutra tienen una baja digestibilidad y bajo contenido de proteína cruda; lo cual, repercute en una modesta respuesta productiva del animal, misma que fluctúa paralelamente a la disponibilidad estacional de los forrajes. Los excesos estacionales de forraje no son completamente aprovechados por los productores a través de la conservación de los mismos; ya sea por las condiciones climatológicas prevalecientes, como sería la alta humedad que no permite el henificado, o bien, la ausencia de cultura para la preservación a través del ensilaje.

La suplementación con concentrados no parece ser la más adecuada, ya que tal parece que se emplean concentrados “estándar” con cantidades fijas de proteína cruda y de energía metabolizable, sin identificar qué nutriente es el que, dependiendo la época y disponibilidad-composición de forraje, se debe suplementar. Adicionalmente, en el caso de las vacas en lactancia, no se hace distinción en la etapa de la misma, y aunque se sabe que hay una producción diferenciada, generalmente, la cantidad y composición del suplemento no varían. La literatura nacional disponible, relacionada con la

alimentación y nutrición de ganado en los trópicos, adolece de trabajos que permitan conocer la eficiencia de utilización de los diferentes insumos normalmente considerados; de la misma manera, aunque existen algunos trabajos que comparan la respuesta productiva de animales cruzados y con diferente grado de encaste a *Bos taurus*, se carece de evidencias que evalúen los requerimientos nutricionales de dichos animales, así como su grado de tolerancia y adaptación a las condiciones ambientales prevalecientes en el trópico mexicano.

Partiendo de la premisa de que para mejorar la respuesta productiva y reproductiva de la vaca de doble propósito es necesario incluir suplementos alimenticios, es imperante que se establezcan líneas de investigación para dilucidar no sólo la respuesta a la suplementación cuantitativa con concentrados para disminuir el efecto negativo sobre el balance energético, sino que también se contemplen estudios para evaluar la fermentación ruminal de los componentes, y la producción de metabolitos que promuevan tanto la síntesis de leche como el desencadenamiento de la respuesta hormonal para el retorno a la actividad ovárica en el posparto. Adicionalmente, se debe retomar la investigación para determinar la variación en la concentración y disponibilidad de minerales en los forrajes disponibles, para poder establecer mecanismos adecuados y eficientes de suplementación.

### III.3.3 CALIDAD DE LA CANAL BOVINA

Existe escasa información sobre la calidad de las canales bovinas, pero en general se ha observado que las canales provenientes de los sistemas de pastoreo del trópico (con alimentación a base de pastos), son de menor calidad que aquéllas que provienen de sistemas intensivos (con alimentación basada en granos), por lo que en general se concluye que existe potencial para mejorar la calidad de las canales de bovinos alimentados en las regiones tropicales de México. Uno de los problemas que presentan estas canales con cierta frecuencia es la pigmentación amarilla del tejido adiposo. Es posible que los nuevos enfoques metodológicos tales como la medición del consumo de alimento residual (RFI, por sus siglas en inglés), resulte en una mejora de algunas de las características de la canal, al hacer posible la identificación de los animales más eficientes en la conversión de alimento a carne. Se han planteado opciones para incrementar la concentración de ácidos grasos de cadena larga n-3 en el cuerpo del bovino, a través del incremento en la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados en el rumen.

### III.4 CONOCIMIENTO DE FRONTERA

Existen diversas áreas de la ciencia animal que están jugando un papel importante en el entendimiento a profundidad de los límites y los desafíos que enfrentan los sistemas de producción bovina para incrementar la productividad ganadera, en particular en las regiones tropicales del mundo.

La genómica, la transcriptómica y la secuenciación están jugando un importante papel en la identificación de las especies de metanógenos que tienen actividad relevante en la síntesis de metano en el rumen, así como en la identificación de agentes antimetanógenos que puedan inhibir o matar a los metanógenos, lo cual podría conducir hacia nuevos enfoques para la mitigación del metano ruminal en bovinos.

#### III.4.1 POTENCIAL DE LA GENÓMICA NUTRICIONAL EN LA INVESTIGACIÓN EN GANADERÍA

El aumento en la competitividad y la eficiencia de la actividad relativa a la producción de alimentos de origen animal, sólo será posible cuando la investigación en la disciplina se modernice, es decir, cuando los investigadores apliquen en sus experimentos las técnicas de punta que vayan siendo disponibles, lo cual no es frecuente en México. La adopción de las metodologías de la nutrigenómica que estudia el efecto de los nutrimentos en la salud a través de las alteraciones en el genoma, el proteoma, el metaboloma, y los cambios fisiológicos resultantes, y la microbiómica digestiva, se vuelve entonces de vital importancia tanto para las actividades de investigación, como eventualmente en la producción misma. El estudio de las interacciones entre genes y nutrimentos ha sido un tema de interés creciente en las últimas décadas. Por ejemplo, el estudio del genoma de los ovinos ha permitido conocer detalles de la evolución y el metabolismo lipídico de la especie *Ovis aries*. Al igual que en otros campos de la biología, los primeros experimentos se centraron en uno o unos pocos genes, principalmente debido a las limitaciones tecnológicas en ese momento. Más recientemente, los avances en estas últimas, han hecho posible estudiar un gran número de genes e incluso todo el genoma en un solo trabajo.

La genómica nutricional es una disciplina que estudia la relación entre el genoma, la nutrición y la salud. Se divide en:

- a) Nutrigenómica: que estudia el efecto de los nutrimentos en la salud a través de las alteraciones en el genoma, el proteoma, el metaboloma, y los cambios fisiológicos resultantes.
- b) Nutrigenética: que estudia los efectos de variaciones genéticas en la interacción entre dieta y salud con implicaciones a subgrupos susceptibles.

Más específicamente, la nutrigenómica estudia cómo las diferencias individuales en los genes influyen las respuestas del organismo a la alimentación y a la nutrición.

Es en la especie humana donde se han tenido los mayores logros. Por ejemplo, las personas con una deficiencia causada por mutaciones en la enzima fenilalanina hidroxilasa no pueden metabolizar los alimentos que contengan el aminoácido, y deben modificar sus dietas en consecuencia. Con los datos genómicos modernos, mutaciones genéticas con efectos menos severos están siendo exploradas para determinar si las prácticas alimenticias pueden personalizarse más acertadamente a perfiles genéticos individuales. Sin embargo, se han realizado pocos estudios validados para este tipo de efectos de mutaciones genéticas clásicas.

El entusiasmo reciente de la comunidad científica en la nutrigenómica proviene de una creciente conciencia de la posibilidad de modificaciones de los alimentos para mejorar la salud, y reducir el riesgo de enfermedades relacionadas con la dieta en humanos. Es un campo emergente que tiende a desplegar el papel de la nutrición en la expresión génica que reúne a la bioinformática, la nutrición, la biología molecular, la genómica, la epidemiología, y la medicina molecular. Cubre el panorama general de la nutrigenómica, sus enfermedades asociadas, y el papel de los polimorfismos de nucleótidos simples (SNP; por sus siglas en inglés) en la alteración de genes, la suplementación de la dieta, y la conciencia pública. Se entiende que con el aumento de los cambios en los hábitos alimenticios y estilos de vida, las personas son cada vez más propensas a los trastornos relacionados con la dieta. Por lo tanto hay una necesidad urgente de impulsar más investigación en este campo para ayudar a la población a comprender la relación entre la dieta y la salud, y para garantizar que todos se beneficien de la revolución genómica.

Para el caso de las especies animales, la conexión entre la nutrición y la agricultura es una relación que, porque es tan fundamental, a menudo se pasa por alto o es subestimada. Por ejemplo, con un enfoque

de genómica, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés), y la empresa Illumina Inc. desarrollaron un chip con más de 50,000 SNP para predecir la producción lechera de los sementales, con el que se obtiene una exactitud de predicción del 70 %, se realiza al nacimiento y tiene un costo de 250 dólares; mientras que una prueba tradicional de progeñe en sementales de ganado lechero tiene un costo aproximado de 50,000 dólares, dura 5 años y la exactitud de la predicción es del 35 %. Esto es de gran trascendencia, porque podrá cambiar a la industria lechera en un corto tiempo y porque finalmente contribuirá a incrementar la producción de leche, la cual es un insumo muy importante para la alimentación humana.

Respecto a la nutrición de los animales, en la medida que la población sea más consciente de los genes que están implicados en la salud, y de los polimorfismos asociados con esos genes, los científicos serán confrontados con la necesidad de hacer recomendaciones alimenticias significativas para mejorar la producción y la salud de las especies domésticas (de granja y mascotas).

Los animales han evolucionado durante millones de años para desarrollarse y prosperar en entornos exigentes y diversos, con presiones de selección que los impulsan a la adaptación a través de interacciones con el ambiente circundante. Estas adaptaciones pueden ir desde las variaciones anatómicas que llevaron a una especialización estructural, hasta los polimorfismos genéticos que tuvieron un profundo impacto en los rasgos fenotípicos. Una de tales presiones a lo largo de la evolución de los animales ha sido la constante interacción con diversas especies microbianas digestivas. Aunque existe la posibilidad de sufrir problemas con bacterias patógenas, los animales han evolucionado para formar relaciones simbióticas con una amplia variedad de microbios, donde el mutualismo ofrece numerosos beneficios nutricionales, de desarrollo y fisiológicos.

Sin embargo, hasta hace pocos años, las interacciones del mundo microbiano con los animales se definían en el contexto de estados de enfermedad, con relativamente pocos casos reconocidos de simbiosis (como con los animales rumiantes). En la actual posibilidad de llevar a cabo análisis genómicos y de expresión génica de células aisladas, o incluso de comunidades microbianas completas (metagenómica y metatranscriptómica) asociado a la formación de bases de datos masivas, y su respectivo análisis e interpretación (bioinformática), permiten hacer sentido de la compleja información disponible. En esa forma ha

aumentado la percepción de que los microbios influyen en el fenotipo de los organismos, lo que tiene alcances muchos mayores que aquéllos derivados de simples simbiosis. Aunque en un estudio reciente llevado a cabo por la Red de Biotecnología para la Agricultura y los Alimentos (BioRed) del CONACYT, la mayoría de los investigadores pecuarios encuestados del país expresaron su familiaridad con las técnicas biotecnológicas modernas, estos más bien profesan las disciplinas relacionadas con la salud animal (i.e. la prevención y el tratamiento de las enfermedades infecciosas que afectan a los animales, y ya sea merman su productividad o bien representan riesgos sanitarios para la actividad pecuaria, o para la población humana). Los grupos identificados en México que realizan investigación en nutrigenómica o micobiómica digestiva con especies avi-pecuarias son todavía incipientes.

### III.4.2 ALIMENTACIÓN DE VACAS EN PASTOREO

La formulación de suplementos para vacas en pastoreo se mantiene como un tema que presenta retos y desafíos al técnico que trabaja con vacas de doble propósito en las regiones tropicales. Se ha propuesto que el principal factor que limita la producción de leche en vacas en pastoreo es el consumo de energía metabolizable, el cual en las regiones tropicales se empeora particularmente durante la estación de secas cuando la concentración de proteína cruda y la digestibilidad aparente de la materia seca de los pastos se reducen. Bajo estas condiciones es de particular importancia, considerar el posible efecto de una estrategia de suplementación (energética, proteica; de alta o baja degradación ruminal) sobre: el consumo de materia seca del pasto, los posibles efectos de sustitución, los efectos asociativos, la sincronía de los nutrimentos en el rumen y las pérdidas de nitrógeno desde el tracto gastrointestinal, entre otros factores.

En este sentido, la conducta ingestiva del ganado bovino en pastoreo surge como un tema de gran importancia científica y práctica. Se han hecho propuestas novedosas para entender el cómo la conducta ingestiva refleja las interacciones entre los rumiantes y los alimentos, para lograr la homeostasis metabólica. En México, se han estudiado las relaciones que existen entre la conducta ingestiva y la producción de leche de vacas en pastoreo. Resulta de gran importancia continuar con los estudios de medición del consumo de alimento y conducta ingestiva de bovinos en pastoreo para obtener el mayor consumo posible de material vegetal fermentable en el rumen. Por

otro lado, estudios sobre la conducta del ganado *Bos indicus* realizados en Veracruz, sugieren que independientemente del sexo de su propio becerro, las vacas cebuinas están más atentas (o son más receptivas) a becerros machos que a las hembras. Estos estudios de la conducta sin duda conducirán a reducir el estrés en los bovinos a través de la implementación de mejores prácticas de manejo.

Estudios recientes con vacas de carne en los Estados Unidos de América, sugieren que es preciso continuar con los estudios de los requerimientos de energía metabolizable (o neta), así como de los de proteína metabolizable, para aportar con precisión las cantidades requeridas de estos nutrimentos en el ganado bovino en pastoreo de gramíneas, en las cuales la disponibilidad y el consumo de materia seca varía dependiendo de la estación (fotoperiodo) y de la precipitación pluvial. La técnica calorimétrica continua siendo empleada para discernir los efectos de la inclusión de subproductos tales como los granos secos de destilería en raciones altas en grano; así como para determinar los requerimientos de mantenimiento de los bovinos *Bos taurus* y *Bos javanicus*. Esta es un área de estudio que podría aportar información relevante al componente eficiencia alimenticia en ganado bovino alimentado tanto con raciones de grano (almidón), como con bovinos alimentados con pastos (celulosa) tropicales en México.

## III.5 TECNOLOGÍA MUNDIAL DISPONIBLE Y GRADO DE APLICACIÓN EN MÉXICO

### III.5.1 SUPLEMENTACIÓN ESTRATÉGICA CON NUTRIENTES CRÍTICOS (ENERGÍA/PROTEÍNA)

Se han descrito ampliamente los principios que rigen la suplementación de bovinos en pastoreo en las regiones tropicales (uso del nitrógeno no proteico, leguminosas, mezclas minerales).

Es importante discernir acerca de los objetivos y las decisiones que se toman con relación a la suplementación de los bovinos durante la estación de secas. Algunas de las preguntas que el ganadero o el técnico se deben hacer antes de empezar a suplementar al ganado durante la estación de secas son las siguientes:

¿Qué tipo de suplemento emplear? (energético o proteico, o ambos)

¿Qué grupo de ganado dentro del rancho debe de recibir el suplemento?

¿Cuánto suplemento se les debe de proporcionar?

¿Con qué frecuencia?

¿Por cuánto tiempo?

¿Cuándo se debe de empezar a proporcionar?

La eficiencia de uso de los diversos suplementos por los bovinos depende de varios factores entre los que se encuentran: 1) los bovinos en pastoreo son capaces de seleccionar material vegetal con un buen contenido de proteína cruda; 2) puede ser que el suplemento no sea consumido por el animal en pastoreo; 3) los forrajes de baja calidad con frecuencia son deficientes tanto en energía como en otros nutrimentos, y las deficiencias de fósforo y azufre pueden limitar la respuesta a la proteína; 4) el requerimiento de proteína cruda en relación al suministro de energía disponible está determinado por la etapa de crecimiento y el estado fisiológico del animal, los forrajes pueden tener suficiente proteína para algunos tipos de producción pero no para otros; 5) los suplementos proteicos que no son muy degradables en el rumen, pueden ser deficientes en amino ácidos específicos o su valor biológico puede haber sido alterado durante su manufactura.

Los suplementos alimenticios deben ser formulados de acuerdo al orden en el cual los factores nutricionales están limitando la producción. El objetivo de la suplementación de bovinos alimentados con pastos de baja calidad, como los que están disponibles durante la estación de secas, es utilizar pequeñas cantidades del suplemento para aliviar las deficiencias nutricionales en la ración basal, mantener o aumentar el consumo de ésta y evitar las pérdidas de peso de los animales.

Un suplemento alimenticio debe: 1) ser palatable para el animal, 2) incrementar el flujo de proteína microbiana desde el rumen, 3) proporcionar proteína sobrepasante y 4) aumentar el consumo de energía metabolizable.

### III.5.2 TIPOS DE SUPLEMENTOS

Los suplementos pueden ser de tipo energético, proteico, grasas y minerales. Una forma de clasificarlos es como se describe:

Energéticos: melaza, cáscara de cítricos, sorgo, salvado de trigo, maíz molido, pulido de

arroz, desperdicio de panadería, entre otros. Estos suplementos suministran energía fermentable a los microorganismos que habitan el rumen.

Proteicos: follaje de leucaena, mucuna, urea, pollinaza, gallinaza, harina de pescado, harina de plumas, harinolina, entre otros. Estos sustratos aportan nitrógeno para los microorganismos que habitan el rumen, aunque dependiendo de su degradabilidad en este órgano podrían también suministrar cierta cantidad de proteína a nivel post-ruminal.

Grasas: sebo, aceite, grasa de sobrepaso, entre otros. Estos sustratos tienen como función incrementar la densidad energética de la ración.

Durante la estación de secas se deben de formar varios grupos de animales en el rancho, el manejo inadecuado de potreros y animales causa que con frecuencia se encuentren juntos animales en diferentes etapas de desarrollo y producción. Los animales jóvenes y las vacas gestantes no pueden competir con los animales adultos no gestantes, que son más agresivos y que por tanto consumen más forraje o suplemento que los animales con un requerimiento mayor de nutrimentos. Para evitar esto, los animales deben de ser manejados en grupos en potreros separados, proporcionando los mejores potreros a los animales más valiosos y necesitados en términos de requerimientos de energía y proteína. Se pueden proporcionar suplementos de tipo energético (melaza, cáscara de cítricos, sorgo, yuca) o proteicos (follajes de leucaena o de *Brosimum alicastrum*, frijol mucuna).

En un rancho comercial localizado en Tizimín, Yucatán se llevó a cabo un trabajo (Cuadro 11) en el cual se suplementaron toros cebú en crecimiento que estaban pastoreando pasto *Panicum maximum* (Guinea) durante la estación de seca con melaza:urea (2 kg/cabeza/día; 3% de urea en la melaza), melaza:gallinaza (2 kg/cabeza/día) o sólo pastoreo de Guinea (durante las lluvias no se suplementó). Las ganancias de peso de los toros suplementados durante la sequía fueron superiores a las de los toros que estuvieron sólo en pastoreo, sin embargo durante la estación de lluvias las ganancias de peso de los tres grupos fueron similares. Combinando los resultados de las dos estaciones, la ganancia de peso de los toros fue alrededor de 100 gramos superior en los grupos que recibieron los suplementos comparados con aquél que no lo recibió.

Cuadro 11. Ganancia de peso (g/cabeza/día) en toros cebú en pastoreo de <i>Panicum maximum</i> en Tizimín, Yucatán, suplementados con melaza:urea o melaza:gallinaza			
	Sin suplemento	Melaza:urea	Melaza:gallinaza
Peso vivo inicial, kg	174.4	179.2	174.4
Ganancia de peso en secas (g/cabeza/día)	235	433	503
Ganancia de peso en lluvias (g/cabeza/día)	687	685	632
Ganancia de peso en secas y lluvias (g/cabeza/día) FGH	461	559	567

J. Ku, 1984; datos no publicados.

En bovinos la fermentación ruminal de los forrajes de baja calidad puede mejorarse por la cantidad de proteína suplementaria proporcionada, más que por la fuente de dicha proteína. En Brasil, presentaron recientemente resultados del efecto de la suplementación con niveles crecientes de proteína cruda de diferente degradabilidad ruminal a ganado Nelore en pastoreo de *Brachiaria brizantha* (cv. Marandu) en la transición de la época de secas a la de lluvias, concluyendo que la suplementación con proteína verdadera sólo es beneficiosa en la etapa temprana de este periodo.

Los bloques multivitaminados (melaza, urea) han sido utilizados durante muchos años en México con buenos resultados en varias regiones ganaderas del país.

## III.5.3 ADITIVOS NUTRICIONALES

### III.5.3.1 IONÓFOROS

Los ionóforos son aditivos que se usan en sistemas intensivos y algunos pueden llegar a ser útiles en los sistemas extensivos en los trópicos. En un experimento realizado en Tabasco (trópico húmedo) con novillos *B. taurus x B. indicus* en pastoreo (*Paspalum conjugatum* y *Cynodon plectostachyus*) se evaluó el suministro de lasolacida (90 mg/animal/día) en la época de lluvias en el suplemento y los efectos fueron negativos, aunque no se detectaron diferencias estadísticas, reduciendo la ganancia diaria de peso (0.54 vs. 0.48 kg), el consumo (6.23 vs. 5.87 kg) y sin cambio en la digestibilidad.

En otro experimento realizado en Chiapas, evaluaron 0, 30, 60 y 90 mg/cabeza al día de monensina sódica y realizaron una prueba metabólica y un ensayo de crecimiento. Los resultados mostraron que la monensina mejoró ( $P < 0.01$ ) al incrementar las dosis, el consumo de forraje (7.6, 7.1, 8.2 y 8.0 kg), la digestibilidad (49.5, 54.7, 69.0 y 66.0%) y la ganancia diaria de peso fue mayor con las dosis de 60 y 90 mg ( $P < 0.05$ ).

El potencial de uso de ionóforos debe de explorarse más en los trópicos, dado que en otros países hay reportes de que la monensina sódica ha dado resultados positivos en vacas lecheras en pastoreo en 14 experimentos, y se han desarrollado cápsulas de liberación prolongada para su dosificación en estos sistemas.

### III.5.3.2 PROBIÓTICOS

A pesar de que se ha reportado que los probióticos o cultivos microbianos tienen efectos benéficos en la fermentación ruminal y mejoran la digestibilidad, existen pocos estudios en condiciones tropicales y muchos productos no se han evaluado.

Los experimentos realizados en pastoreo al incluir *Saccharomyces cerevisiae* no han mostrado ningún efecto benéfico en el consumo, digestibilidad aparente o ganancia de peso. Un ensayo metabólico con pastos tropicales tampoco mostró cambios en la fermentación con esta misma levadura. Sin embargo, es posible que en pre-rumiantes puedan tener un mayor impacto pues se ha reportado que reducen problemas digestivos.

También existen probióticos de nueva generación con combinaciones de microorganismos, que podrían ser evaluados con técnicas de gas in vitro usando pastos tropicales para identificar aquéllos potencialmente beneficiosos.

### III.5.3.3 USO DE ENZIMAS FIBROLÍTICAS EN EL TRÓPICO Y SU POTENCIAL

El uso de enzimas fibrolíticas en ganado en pastoreo en el trópico no es común; sin embargo experimentos realizados en México con forrajes tropicales demuestran que tienen potencial para incrementar la digestibilidad aparente y mejorar la producción de carne. Estudios in vitro con caña de azúcar mostraron incrementos en la digestibilidad y en la síntesis de proteína microbiana al adicionar xilanasas y celulasas. El mismo complejo enzimático se usó con novillos en crecimiento en pasto Estrella de África con suplemento de caña de azúcar picada o en forma de sacharina y un suplemento proteínico en dos experimentos realizados en Tabasco, donde reportaron que la ganancia de peso y la digestibilidad de la materia seca y de la fibra detergente neutra respondieron en forma lineal a la dosis de enzima (0, 15 y 30 g/día). La ganancia de peso se incrementó hasta en 65% en comparación con el grupo testigo debido a una mayor digestibilidad y consumo. A pesar de este potencial, el análisis económico de los dos experimentos, mostró que la dosis de 30 g no es rentable, pero sí la de 15 g, con una utilidad de US\$ 0.1 a 0.17/animal/día y una inversión diaria de US\$ 0.59/día/animal. Nuevamente es una inversión muy alta para cualquier productor, más aún cuando existe un reporte de un experimento similar donde no hubo respuesta a las enzimas. Dado que no siempre hay respuesta a las enzimas fibrolíticas, se ha planteado que la respuesta está en función de la calidad del forraje, y en forma particular por la fracción potencialmente digestible, y recomiendan que los estudios de forraje- enzima incluyan la caracterización de estudios de cinética de digestión de la fibra detergente neutra para cuantificar esa fracción. Así mismo sugieren que se desarrollen enzimas fibrolíticas en México para bajar los costos, y así ser más atractivos para su incorporación en diversos sistemas de producción ganadera. Algunos hongos con capacidad fibrolítica que podrían estudiarse son *Fomes fomentarius*, *Trametes versicolor*, *Bjerkandera adusta*, *Pleurotus ostreatus*, *Fomes sp* EUM1, o bien, la bacteria *Cellulomona flavigena*.

### III.5.3.4 $\beta$ -AGONISTAS (CLORHIDRATO DE ZILPATEROL)

Existe evidencia a favor del uso del  $\beta$ -agonista clorhidrato de zilpaterol para incrementar la eficiencia de la deposición de proteína en la masa muscular del ganado bovino en la etapa de finalización, aunque éste reduce el marmoleo e incrementa la dureza de la carne. El clorhidrato de zilpaterol (zilmax) es incorporado extensivamente en las raciones del ganado bovino en finalización en los corrales de engorda en México con resultados satisfactorios.

### III.5.4 TRATAMIENTOS QUÍMICOS Y FÍSICOS DE LOS ESQUILMOS

Existe amplia información en la literatura científica sobre el tratamiento de esquilmos agrícolas (pajas, rastrojos) para incrementar el consumo y la digestibilidad de estos. Los tratamientos más empleados son: el hidróxido de sodio y el amoníaco; ambos tienen el efecto de romper la pared celular, por lo cual la fermentabilidad de la materia orgánica en el rumen usualmente se incrementa.

### III.5.5 SUPLEMENTOS ACTIVADORES DEL RUMEN

Ya se ha documentado el potencial de los aditivos moduladores (microorganismos alimentados directamente) de la fermentación ruminal sobre la ganancia de peso y la conversión alimenticia de novillos.

### III.5.6 NIRS PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE FORRAJES Y SUPLEMENTOS

La tecnología NIRS predice el balance nutricional de vacas de carne en pastoreo, así como indicador de cuándo, -dependiendo de la condición corporal de la vaca-, es necesario suplementar con los nutrientes críticos en determinadas épocas del año. La técnica de NIRS puede ser empleada para detectar la gestación de la vaca en pastoreo e inclusive la acidosis del ganado en el corral. Esta tecnología podría ser de utilidad bajo las condiciones de la ganadería tropical de México, donde existe carencia de laboratorios de análisis químico de los alimentos en varias regiones ganaderas del país.

### Utilización de modelos computacionales y simulación del balance nutricional y de sistemas para ganado en el trópico

Dentro del área de modelos y simulación, se han realizado diversos trabajos en condiciones tropicales en México. Algunos van desde aspectos básicos de digestión como el modelo dinámico mecanístico para la evaluación de un sistema ruminal basado en caña de azúcar; otros se han usado para describir el crecimiento de algunas razas cebuinas y estimar requerimientos nutricionales. También se han propuesto modelos para estimar el balance calórico de bovinos en trópico, y otros han estudiado a nivel de sistemas de producción realizando modelos para estimar las emisiones de metano. Otros modelos han intentado implementar un enfoque integral hacia aspectos aplicados de la ciencia animal, para manejar cantidades masivas de datos. Se ha empleado la modelación matemática para evaluar el impacto ambiental del sistema vaca-becerro bajo diferentes escenarios de producción.

A nivel mundial existe interés por desarrollar programas de simulación que permitan evaluar raciones, y se han generado programas evaluados en condiciones tropicales como el modelo del NRC (1996; 2000) de requerimientos nutricionales para ganado bovino para carne, que integra un programa computacional, con el cual se obtienen diversas estimaciones (salidas del modelo), entre las que se encuentran el consumo de materia seca (CMS), la ganancia diaria de peso (GDP) en función de la energía metabolizable y proteína metabolizable, pH ruminal, balance de aminoácidos, entre otros parámetros.

La evaluación del modelo del NRC con datos de investigaciones mexicanas está ya reportada, pero se ha demostrado que este modelo para ganado bovino no permite obtener valores adecuados de exactitud en las predicciones de GDP y CMS. Por esto diversos investigadores han realizado esfuerzos para desarrollar modelos que permitan mejorar la predicción. El uso de modelos para bovinos en pastoreo muestra que uno de los principales problemas es la estimación del consumo voluntario en pastoreo, lo cual tiene un impacto en la salida del sistema.

Es importante que en las evaluaciones de modelos se considere una metodología estandarizada de pruebas estadísticas, y que se incluya el análisis de sensibilidad, lo cual ha permitido detectar limitaciones de los modelos.

En el manejo nutricional del pastoreo, el reto es desarrollar modelos que permitan predecir la ganancia de peso, estimar el consumo de materia seca al usar suplementos considerando la calidad del forraje (composición química, degradabilidad ruminal), efectos del clima (temperatura, humedad) en el animal y los requerimientos de energía metabolizable, en respuesta al uso de suplementos y aditivos, así como hacer análisis económicos y escenarios al cambiar estrategias nutricionales de manejo. Se esperaría que los modelos permitieran detectar problemas de manejo, deficiencias nutricionales e incluso contribuir hacia una mejor presupuestación forrajera en la unidad de producción.

### III.6 PROSPECTIVA

México corre el riesgo de convertirse en uno de los países con mayores importaciones de alimentos en el mundo en los próximos años. La autosuficiencia alimentaria ha sido una de las metas declaradas por el liderazgo político en los últimos seis sexenios de gobiernos federales; desafortunadamente, dicha meta parece alejarse cada vez más de la realidad. El aumento de la productividad de la ganadería bovina tropical de México, implica la incorporación de tecnologías novedosas en los millones de cabezas que pastan en praderas tropicales, para así lograr un efecto importante en términos de la obtención de mayores rendimientos de carne y leche por hectárea, sin menoscabo del suelo, el agua, la biodiversidad y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Se percibe que en buena medida la investigación científica en alimentación de rumiantes en las regiones tropicales del mundo está enfocada hacia el uso de los recursos forrajeros con altos rendimientos de materia seca por hectárea, composición química adecuada para obtener una máxima extracción de energía en el rumen, alta fermentabilidad ruminal de los carbohidratos estructurales, que se refleja positivamente en el comportamiento animal y un producto de calidad (alto marmoleo; suavidad, jugosidad, ácidos grasos n-3) para los mercados tradicionales y emergentes. El uso de enzimas fibrolíticas que mejoran la fermentabilidad de la fibra detergente neutra en el rumen es una de las opciones disponibles para lograr extraer la mayor cantidad de energía química almacenada en los alimentos y convertirla en metabolitos energéticos (ácidos grasos volátiles) usados para la ganancia de peso y la producción de leche. Las tecnologías disponibles están enfocadas hacia la conservación (heno, ensilado) de forrajes y el uso de subproductos de buena calidad

nutricional para suplementar a los bovinos durante las estaciones de baja disponibilidad de alimentos (sequía, nortes), y así evitar fluctuaciones en el comportamiento animal que comprometan la venta de animales en los mercados preferentes (animales jóvenes, canales pesadas) en el tiempo convenido con los clientes.

La necesidad de identificar las razas (o cruza) de bovinos más apropiadas para los diferentes sistemas de producción ganadera tropical sugiere que las técnicas de calorimetría indirecta podrían aportar información relevante en el relativo corto plazo, con el fin de identificar aquellas razas con menor requerimiento de energía metabolizable para el mantenimiento o mayor eficiencia energética para la deposición de proteína y grasa en el cuerpo.

Ya se ha demostrado la precisión de la técnica calorimétrica para entender el efecto de la inclusión de determinados ingredientes (suplementos) en la ración, sobre la retención de energía como grasa o proteína en el cuerpo de los rumiantes. El impacto de la producción sobre el ambiente no debe de ser subestimado, y el uso de metabolitos secundarios, así como de otras estrategias (nitratos, ácidos grasos insaturados) para reducir las emisiones de metano y óxido nitroso de los bovinos deben continuar siendo investigadas. Resulta imperativo concentrar el esfuerzo de investigación en alimentación de bovinos en las regiones tropicales en aquellas temáticas (consumo de alimento residual, suplementación proteica y mineral) que se vislumbren como más prometedoras (y económicamente ventajosas) para lograr un mayor impacto sobre la eficiencia de utilización de la energía y del nitrógeno en el animal, así como aquellas que resulten en una mejora en la conversión alimenticia (identificación de razas o cruza con menor requerimiento de energía metabolizable para el mantenimiento), que usualmente beneficia económicamente a los ganaderos, ya que estos padecen de los constantes aumentos en el precio de los insumos alimenticios. Sin embargo, es necesario incrementar la infraestructura analítica (laboratorios de análisis químicos; equipos NIRS) en las principales regiones ganaderas del trópico de México para determinar la calidad nutricia de los pastos y subproductos disponibles a lo largo del año de manera expedita, con el propósito de que el técnico junto con el ganadero, puedan realizar el balance nutricional y la presupuestación forrajera del rancho al inicio de cada año, minimizando así el impacto de la variación en la composición química a través del año y las estaciones climáticas. La suplementación mineral estratégica se vislumbra como una práctica necesaria y recomendable

a realizar en el ganado bovino que pastorea en las regiones tropicales del país, con el fin de incrementar la eficiencia de uso de la energía y la proteína en el ganado y mejorar la fertilidad de la hembra y el macho bovinos. La producción de canales bovinas con valor agregado (marmoleo, ácidos grasos insaturados) o de animales criados bajo condiciones de libertad en pastoreo sin la aplicación de aditivos (orgánicos) como hormonas o β-agonistas, que ciertos sectores de la sociedad perciben como no conducentes hacia la obtención de productos inocuos para el consumo generalizado de la población, representa una opción para la producción en el mediano plazo.

El incremento en la productividad de la ganadería bovina tropical de México requerirá de la participación de grupos interdisciplinarios de investigación que aborden los problemas de la zootecnia de una manera integral, concentrando el esfuerzo de investigación en temáticas que impacten directamente la productividad del rancho y la rentabilidad del negocio. Asimismo, se requerirán recursos humanos con una alta calificación científica para llevar a cabo investigación en la frontera del conocimiento en las diferentes ramas de la ciencia animal contemporánea, y es lo que se espera del posgrado nacional. Se percibe como prioritaria la comunicación y la movilidad (de profesores y estudiantes) entre los posgrados en ciencia animal acreditados por el CONACYT como de calidad, para enfocar adecuadamente las líneas de investigación a ser abordadas por los grupos de investigación de una manera sincrónica, y concentrarse en problemáticas relevantes en esta área del conocimiento. Todo lo anterior sólo podrá lograrse con la participación coordinada de técnicos, ganaderos, empresas (alimentos balanceados, laboratorios), investigadores y las instancias del sector público (SAGARPA, Secretarías de Desarrollo Agropecuario estatales; Fundaciones Produce). Las incipientes acciones puestas en operación por la Red de Investigación e Innovación Tecnológica para la Ganadería Bovina Tropical (REDGATRO) del CONACYT, podrían ser el detonador de tales mejoras tan urgentes y necesarias en el contexto de la situación actual de la ganadería bovina en México.

### III.7 LITERATURA CONSULTADA

Absalon-Medina VA, Blake WR, Fox GD, Juarez-Lagunes FI, Nicholson FCh, Canudas-Lara GE, Rueda-Maldonado LB. Limitations and potentials of dual-purpose cow herds in Central Coastal Veracruz, Mexico. *Trop Anim Hlth Prod* 2012;44:1131-1142.

Afman L, Muller M. Human nutrigenomics of gene regulation by dietary fatty acids. *Prog Lipid Res* 2012;51:63-70.

Aguilar-Pérez C, Ku-Vera J, Garnsworthy PC. Effects of bypass fat on energy balance, milk production and reproduction in grazing crossbred cows in the tropics. *Livest Sci* 2009;121:64-71.

Aguilar-Pérez C, Ku-Vera J, Centurión-Castro F, Garnsworthy PC. Energy balance, milk production and reproduction in grazing crossbred cows in the tropics with and without cereal supplementation. *Livest Sci* 2009;122:227-233.

Aguilar-Pérez CF, Ku-Vera JC, Magaña-Monforte JG. Energetic efficiency of milk synthesis in dual-purpose cows grazing tropical pastures. *Trop Anim Hlth Prod* 2011;43:767-772.

Aharoni Y, Henkin, Z, Ezra A, Dolev A, Shabtay A, Orlov A, Yehuda Y, Brosh, A. Grazing behavior and energy cost of activity: A comparison between two types of cattle. *J Anim Sci* 2009;87:2719-2731.

Allen MS. Drives and limits to feed intake in ruminants. *Anim Prod Sci* 2014;54:1513-1524.

Aranda IEM, Mendoza GDM, Ramos JAJ, Cláudio da Silva BI, VittiAC. Efeito de enzimas fibrolíticas sobre a degradação microbiana ruminal da fibra de cana-de-açúcar. *Cienc Anim Brasileira* 2010;11:488-495.

Arroyo D, Teunissen, H. Estudio comparativo de producción de carne en 5 zacates tropicales. *Téc Pecu Méx* 1964;3:15-19.

Ayala A, Capetillo C, Cetina R, Sandoval C. Composición Química-Nutricional de Árboles Forrajeros. México. Universidad Autónoma de Yucatán. 2006.

Barrón-Gutiérrez S, Mora-Izaguirre O, Castaño-Meneses V, Shimada-Miyazaka A. La pigmentación amarilla del tejido adiposo de bovinos finalizados en pastoreo y su relación con su concentración de carotenoides y el perfil de ácidos grasos. *Téc Pecu Méx* 2006;44:231-240.

- Bartl K, Gómez CA, Nemecek T. Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. *J Cleaner Prod* 2011;19:1494-1505.
- Bonilla CJ, Lemus FC. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. *Rev Mex Cienc Pecu* 2012;3:215-246.
- Bouchard C, Ordovas, J. Fundamentals of nutrigenetics and nutrigenomics. *Progress Molec Biol Translational Sci* 2012;108:1-15.
- Butterworth MH. Una nota sobre el contenido de proteína cruda en pasto Pangola (*Digitaria decumbens* stent) bajo diferentes sistemas de manejo. *Rev Mex Prod Anim* 1968;1:20-22.
- Cabral CHA, Paulino MF, Detmann E, Filho SCV, de Barros LV, Valente, EEL, Bauer MO, and Cabral CEA. Levels of supplementation for grazing beef heifers. *Asian-Australas J Anim Sci* 2014;27:806-817.
- Cabrera EJI, Mendoza MGD, Aranda IE, García-Bojalil E, Bárcena GR, Ramos JA. *J. Saccharomyces cerevisiae* and nitrogenous supplementation in growing steers grazing tropical pastures. *Anim Feed Sci Technol* 2000;83:49-55.
- Cabrera EI. Efecto de la suplementación nitrogenada y la adición de cultivo microbiano de *Saccharomyces cerevisiae* en el comportamiento de toretes en praderas tropicales. [Tesis Maestría]. Estado de México, México. Colegio de Postgraduados. 1996.
- Calegare L, Alencar MM, Packer IU, Lanna DPD. Energy requirements and cow/calf efficiency of Nellore and Continental and British Bos taurus x Nellore crosses. *J Anim Sci* 2007;85:2413-2422.
- Calegare L, Alencar MM, Packer IU, Ferrell CL, Lanna DPD. Cow/calf preweaning efficiency of Nellore and Bos taurus x Bos indicus crosses. *J Anim Sci* 2009;87:740-747.
- Calsamiglia S, Ferret A, Reynolds C, Kristensen N, van Vuuren A. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal* 2010;4:1184-1196.
- Calzada-Marín JM, Enriquez-Quiroz JF, Hernández-Garay A, Ortega-Jiménez E, Mendoza-Pedroza SI. Análisis de crecimiento del pasto marafalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Rev Mex Cien Pecu* 2014;5:247-260.
- Campos PD, Tavares CC, Miranda GC, Martins MR, Ávila PM, Dias M, Ferreira XD. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livest Sci* 2011; 141:166-172.
- Cannas A, Atzori AS, Teixeira IAMA, Sainz RD, and Oltjen JW. The energetic cost of maintenance in ruminants: from classic to new concepts and prediction systems. In: Energy and protein metabolism and nutrition. Matteo CG editor. EAAP Publication No. 127. The Netherlands. Wageningen Academic Publishers 2010:531-542.
- Cano AL, Aranda E, Mendoza GD, Pérez J, Ramos J. Comportamiento de toretes en pastos tropicales suplementados con caña de azúcar y enzimas fibrolíticas. *Téc Pecu Méx* 2003;41:153-164.
- Capper JL. The environmental impact of beef production in the United States: 1977 compared with 2007. *J Anim Sci* 2011;89:4249-4261.
- Carrera CM, Ferrer MF. Producción de carne de ganado Cebú con seis especies de zacates tropicales. *Agric Téc Méx* 1963;2:81-86.
- Castelán-Ortega OA, Ku-Vera JC, Estrada-Flores JG. Modeling methane emissions and methane inventories for cattle production systems in Mexico. *Atmósfera* 2014;27:185-191.
- Chaokaur A, Nishida T, Phaowphaisal I, Pholsen P, Chaithiang R, Sommart K. Energy metabolism and energy requirements for maintenance of Brahman steers in tropical conditions. In: Energy and protein metabolism and nutrition. I. Ortigues-Marty, et al editors. EAAP Publication No. 124. The Netherlands. Wageningen Academic Publishers. 2007:505-506.
- Chizzotti ML, Tedeschi LO, Valadares Filho SC. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nellore cattle. *J Anim Sci* 2008;86:1588-1597.
- Chizzotti ML, Valadares Filho SC, Tedeschi LO, Chizzotti FHM, Carstens GE. Energy and protein requirements for growth and maintenance of F1 Nellore x Red Angus bulls, steers, and heifers. *J Anim Sci* 2007;85:1971-1981.
- Chizzotti ML, Valente EE, Busato KC, Ladeira MM, Gomes RA. Energetic efficiency of Zebu cattle. Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y la Seguridad Alimentaria (AMPA). Villahermosa, Tabasco. México. Mayo 22-24, 2013: 213-225.
- Clarke G. The gut microbiome as a virtual endocrine organ: implications for physiology, brain and behaviour. In: The Gut: New critical control points for endocrine-immune-metabolic targeting. 8th Internl Cong Farm Anim Endocrinol. Denmark. 2015.

- Cristobal-Carballo O. Management of heifer growth in dual-purpose cattle systems in the low Huasteca region of Veracruz, México [MSc.Thesis]. Ithaca, New York, USA. Cornell University. 2009.
- Cordova DF. Efecto de la suplementación nitrogenada y un cultivo de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en la digestibilidad y consumo de pasto insurgente (*Brachiariabrizantha*) en toretes [Tesis maestría], Estado de México, México. Colegio de Postgraduados. 1996.
- CSIRO. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. Collingwood, Australia. CSIRO. 2007.
- Cuartas-Cardona CA, Naranjo-Ramírez JF, Tarazona-Morales AM, Barahona-Rosales R. Uso de la energía en bovinos pastoreando sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* y su relación con el desempeño animal. *Revista CES Med Vet Zootec* 2013;8:70-81.
- Delgado DC, Galindo J, González R, González N, Scull I, Dihigo L. Feeding of tropical trees and shrub foliages as a strategy to reduce ruminal methanogenesis: studies conducted in Cuba. *Trop Anim Hlth Prod* 2012; 44:1097.
- Delgado EJ, Rubio MS, Iturbe FA, Méndez RD, Cassís L, Rosiles R. Composition and quality of Mexican and imported retail beef in Mexico. *Meat Sci* 2005;69:465-471.
- Dias-Moreira G, Tavares-Lima PM, Oliveira-Borge B, Primavesi O, Longo C, McManu C, Abdalla A, Louvandini H. Tropical tanniferous legumes used as an option to mitigate sheep enteric methane emission. *Trop Anim Hlth Prod* 2013;45:879-882.
- Ferguson BG, Diemont SAW, Alfaro-Arguello R, Martin J, Nahed-Toral J, Alvarez-Solís D, Pinto-Ruiz R. Sustainability of holistic and conventional cattle ranching in the seasonally dry tropics of Chiapas, Mexico. *Agric Sys* 2013;120:38-48.
- Fernandes RM, Almeida, ChM, Carvalho, BC, Neto JAA, Mota VAC, Resende FD, Siqueira, GR. Effect of supplementation of beef cattle with different protein levels and degradation rates during transition from the dry to rainy season. *Trop Anim Hlth Prod* 2015. DOI 10.1007/s11250-015-0925-1.
- Ferrell CL Oltjen, JW. Net energy systems for beef cattle- Concepts, applications and future models. *J Anim Sci* 2008;86:2779-2794.
- Firkins JL, Yu, Z. How to use data on the rumen microbiome to improve our understanding of ruminant nutrition. *J Anim Sci* 2015;93:1450-1470.
- Flint H, Bayer E, Rincon M, Lamed R, White B. Polysaccharide utilization by gut bacteria: potential for new insights from genomic analysis. *Nature Rev Microbiol* 2008;6:121-131.
- Fox DG, Sniffen CJ, O'Connor JD, Russell JB, Van Soest PJ. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. III. Cattle requirements and diet adequacy. *J Anim Sci* 1992;70:3578-3596.
- Flores Chuc SA. Efecto de la carga animal sobre la disponibilidad, calidad del forraje y cambio de peso de toretes en pastoreo de *Brachiaria brizantha* durante la época de nortes en Yucatán [tesis maestría]. Yucatán, México. Universidad Autónoma de Yucatán. 2009.
- Foote AP, Hales KE, Lents CA, Freetly H.C. Association of circulating active and total ghrelin concentrations with dry matter intake, growth and carcass characteristics of finishing beef cattle. *J Anim Sci* 2014;92:5651-5658.
- French P, O'Brien BC, Shalloo L. Development and adoption of new technologies to increase the efficiency and sustainability of pasture-based systems. *Anim Prod Sci* 2015;55:931-935.
- Frisch JE, Vercoe JE. Food intake, eating rate, weight gains, metabolic rate and efficiency of feed utilization in *Bos taurus* and *Bos indicus* crossbred cattle. *Anim Prod* 1977;25:343-358.
- García-García RM. Integrative control of energy balance and reproduction in females. *ISRN Vet Sci* 2012; Article ID 121389.
- Goel G, Makkar HPS. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Trop Anim Hlth Prod* 2012;4:729-739.
- Gómez VA, Mendoza GD, Aranda E, Pérez J, Hernández A, Pinos-Rodríguez JM. Influence of fibrolytic enzymes on growth performance and digestion in steers grazing stargrass and supplemented with fermented sugarcane. *J Applied Anim Res* 2011;39:77-79.
- Gómez VA, Pérez J, Mendoza GD, Aranda E, Hernández A. Fibrolytic enzymes improve performance in steers fed sugar cane and stargrass. *Livest Prod Sci* 2003;82:249-254.

- Hales KE, Cole NA, MacDonald JC. Effects of corn processing method and dietary inclusion of wet distillers grains with soluble on energy metabolism, carbon-nitrogen balance, and methane emission of cattle. *J Anim Sci* 2012;90:3174-3185.
- Hales KE, Cole, NA, MacDonald, JC. Effects of increasing concentrations of wet distillers grains with soluble in steam-flaked, corn-based diets and energy metabolism, carbon-nitrogen balance and methane emissions of cattle. *J Anim Sci* 2013;91:819-828.
- Hales KE, Foote AP, Brown-Brandl TM, Freetly HC. Effects of dietary glycerine inclusion at 0, 5, 10 and 15 percent of dry matter on energy metabolism and nutrient balance in finishing beef steers. *J Anim Sci* 2015;93:348-356.
- Hosford AD, Hergenreder JE, Kim JK, Bagermann JO, Ribeiro FRB, Anderson MJ, Spivey KS, Rounds W, Johnson BJ. Effects of supplemental lysine and methionine with zilpaterol hydrochloride on feedlot performance, carcass merit and skeletal muscle fiber characteristics in finishing feedlot cattle. *J Anim Sci* 2015;93:4532-4544.
- Hernandez PA, Barcena R, Mendoza GD, Montes CS, Gonzalez S, Rojo R. Xylanase activity from *Cellulomonas flavigena* extracts as affected by temperature and its degradation under in vitro ruminal conditions. *African J Microbiol Res* 2011;5:961-964.
- Hirooka H. Systems approaches to beef cattle production systems using modeling and simulation. *J Anim Sci* 2010;81:411-424.
- Jiang Y, Xie M, Chen W, Talbot R, Maddox JF, Faraut T, Wu Ch, Muzny DM, Ly Y, Zhang W, et al. The sheep genome illuminates biology of the rumen and lipid metabolism. *Science* 2014;344:1168-1173.
- Juárez LFI, Barradas LHV, López J. Alimentación de bovinos en el sistema de doble propósito en el trópico. Producción de leche de bovino en el sistema de doble propósito. Libro Técnico Núm. 22. INIFAP. Román PH et al, editores. 2009.
- Juarez-Lagunes FI, Fox DG, Blake RW, Pell, AN. Evaluation of tropical grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical Mexico. *J Dairy Sci* 1999;82:2136-2145.
- Juárez-Lagunes FI, Barradas-Lagunes HV, López J. Alimentación de bovinos en sistema de doble Propósito en el trópico. En: Producción de leche de bovino en el sistema de doble propósito. Ed: INIFAP. CIRGOC. Veracruz, México. 2009.
- Juárez-Lagunes FI, Montero-Lagunes M, Nuñez-Hernández G. Limitaciones y potencial de los forrajes para mejorar la nutrición de bovinos en regiones tropicales. Segundo Simposio Internacional. Genómica y Modelación en los Nuevos Escenarios de la Ganadería Bovina Tropical. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Junio 22. 2011:49-69.
- Juárez-Lagunes FI, Montero-Lagunes M, Enríquez-Quiroz JF, Núñez-Hernández G, Cristóbal-Carballo O, Buendía-Rodríguez G, Canudas-Lara EG. Prácticas de alimentación que mejoren la nutrición de vacas para producción de leche en pastoreo en el trópico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental La Posta. Medellín de Bravo, Veracruz, México. 1aed.2014.
- Kennedy PM, Charmley E. Methane yields from Brahman cattle fed tropical grasses and legumes. *Anim Prod Sci* 2012;52:225-239.
- Kim DH, McLeod KR, Klotz JL, Koontz AF, Foote AP, Harmon DL. Evaluation of a rapid determination of fasting heat production and respiratory quotient in Holstein steers using the washed rumen technique. *J Anim Sci* 2013;91:4267-4276.
- Knapp JR, Laur, GL, Vadas, PA, Weiss, WP, Tricarico, JM. Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J Dairy Sci* 2014;97:3231-3261.
- Kneebone DG, Dryden GMCL. Prediction of diet quality for sheep from faecal characteristics: comparison of near-infrared spectroscopy and conventional chemistry predictive models. *Anim Prod Sci* 2015;55:1-10.
- Kotaro Baba. Analysis of productivity, nutritional constraints and management options in beef cattle systems of Eastern Yucatán, México: A case study of cow-calf productivity in the herds of Tizimín, Yucatán [MSc. Thesis]. Cornell University. Ithaca, NY. USA. 2007.
- Krause DO, Nagaraja TG, Wright ADG, Callaway TR. Rumen microbiology: leading the way in microbial ecology. *J Anim Sci* 2013;91:331-341.

- Ku-Vera JC, Ramírez-Avilés L, Jiménez-Ferrer G, Alayón JA, Ramírez, Cancino L. Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico mexicano. En: Agroforestería para la Producción Animal en América Latina. Roma, Italia. FAO. 1999:231-250.
- Lean IJ, Golder HM, Black JL, King R, Rabiee AR. In vivo indices for predicting risk of acidosis in cattle: Comparison with in vitro methods. *J Anim Sci* 2013;91:2823-2835.
- Leng RA. Factors affecting the utilization of "poor-quality" forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutr Res Rev* 1990;3:277-303.
- Limam MLP, Simili FF, Giacomini A, Roma-Junior LC, Ribeiro EG, de Paz CCP. Rotational stocking management affects the structural and nutritional characteristics of Guinea grass swards and milk productivity by crossbred dairy cows. *Anim Feed Sci Technol* 2013;186:131-138.
- López J, Cámara J, Flores R, Sánchez D, Martínez A, Vera E, Tejada I. Minerales en la ganadería bovina extensiva en Tabasco. Libro Científico Núm. 3. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Tabasco, México. 2007.
- Lyons RK, Stuth JW, Angerer JP. Technical note: Fecal NIRS equation field validation. *J Range Manage* 1995;48:380-382.
- Machado FS, Rodríguez NM, Goncalves LC, Rodrigues JAS, Ribas MN, Possas FP, Jayme DG, Pereira LGR, Chaves AV, Tomich TR. Energy partitioning and methane emission by sheep fed sorghum silages at different maturation stages. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2015;67:790-800.
- Magaña MJG, Ríos GA, Martínez JCG. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Arch Latinoamericanas Prod Anim* 2006;14:105-114.
- Magaña JG, Tewolde A, Anderson S, Segura JC. Productivity of different cow genetic groups in dual-purpose cattle production systems in South-Eastern Mexico. *Trop Anim Hlth Prod* 2006;38:583-591.
- Magaña-Monforte JG, Osorio E, Centurión-Castro F, Segura-Correa JC, Aké-López R, Aguilar-Pérez CF. Producción de leche y tasa de gestación de vacas de doble propósito en el Sureste de México. *Livest Res Rural Develop* 2014;26(4).
- McLennan SR, Poppi DP. Application of nutrient requirement system to grazing cattle, with and without supplements. In: VIII Simposio de Producao de Gado de Corte (VIII SIMCORTE). Editors: SC Valadares Filho, MF Paulino and PV Rodriguez Paulino. Vicosa, Brazil. 2012:95-122.
- Maquivar LMG, Galina CS, Mendoza MGD, Verduzco GAR, Galindo BJR, Molina SR, Estrada, SK. Predicción de la ganancia diaria de peso mediante el uso del modelo NRC en novillas suplementadas en el trópico húmedo de Costa Rica. *Rev Cien FCV-LUZ* 2006;16(6):634-641.
- Marcondes MI, Tedeschi LO, Valadares Filho, SC, Gionbelli MP, Chizzotti, ML. Prediction of partial efficiency of use of metabolizable energy to net energy for gain and maintenance. In: Energy and protein metabolism and nutrition. G. Matteo CG editor. EAAP Publication No. 127. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers; 2010:543-544.
- Márquez A, Mendoza GD, Pinos-Rodríguez JM, Zavaleta H, González S, Buntinx S, Loera O, Meneses M. Effect of fibrolytic enzymes and incubation pH on in vitro degradation of NDF extracts of alfalfa and orchardgrass. *Italian J Anim Sci* 2009;8:221-230.
- Márquez AA, Mendoza GD, Gonzalez S, Buntinx S, Loera O. Actividad fibrolítica de enzimas producidas por *Trametes* sp. EuM1, *Pleurotus ostreatus* y *Aspergillus niger* AD96.4 en fermentación sólida. *Interciencia* 2007;32:780-785.
- Martínez BA, Moya CS, González, RH, Hernández J, Pinelli SA. Contenido de ácido linoléico conjugado (CLA) en leche de ganado lechero Holstein estabulado en el noreste de México. *Rev Mex Cien Pecu* 2010;1:221-235.
- Martínez-García CG, Dorward P, Rehman T. Factors influencing adoption of improved grassland management by small-scale dairy farmers in central Mexico and the implications for future research on smallholder adoption in developing countries. *Livest Sci* 2013;152(2-3):228-238.
- Mayo Eusebio R. Ganancia de peso de bovinos en crecimiento en un sistema silvopastoril intensivo y en un sistema en confinamiento en Michoacán, México [tesis maestría]. Yucatán, México. Universidad Autónoma de Yucatán. 2014.
- McAllister TA, Meale SJ, Valle E, Guan L. Use of genomics and transcriptomics to identify strategies to lower ruminal methanogenesis. *J Anim Sci* 2015;93:1431-1449.

- Meléndez Nava, F. Principales Forrajes para el Trópico. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca-Universidad Popular de la Chontalpa. Cárdenas, Tabasco, México. 2012.
- Méndez RD, Mezo CO, Berruecos JM, Garcés P, Delgado EJ, Rubio MS. A survey of beef carcass quality and quantity attributes in Mexico. *J Anim Sci* 2009;87:3782-3790.
- Mendoza GD, Loera CO, Plata PFX, Hernández GPA, Ramírez MM. Considerations on the use of exogenous fibrolytic enzymes to improve forage utilization. *The Sci World J*. 2014. Article ID 247437. 1- 9.
- Mendoza MG, Pinos JM, Ricalde V, Aranda IE, Rojo RR. Modelo de simulación para estimar el balance calórico de bovinos en pastoreo. *Interciencia* 2003;28(4):202-207.
- Mendoza MGD, Hernández GPA, Plata PFX, Martínez GJA. Evaluación económica del uso de enzimas fibrolíticas en México usadas en rumiantes. XVI Congreso Bienal AMENA. Puerto Vallarta, México. 2013.
- Molina-Saldívar I, Garza-Treviño R, Torres-Hernández M. Producción de carne en los zacates Guinea y Buffel, con dos niveles de fertilización, durante un año de pastoreo en Tizimín, Yuc., clima AW. *Téc Pecu Méx* 1976;31:17-20.
- Montero-Lagunes M, Juárez-Lagunes FI, López-Guerrero I, García-Peniche TB, Rueda-Maldonado BL. Variación estacional de la composición química de pastos en el centro del Estado de Veracruz. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria en México. Mérida, Yuc., México. 2008.
- Muller LD, Bargo F, Ipharraguerre IR. Monensin for grazing dairy cows. *Professional Anim Sci* 2006;22:115-119.
- Nahed-Toral J, Valdivieso-Pérez A, Aguilar-Jiménez R, Cámara-Córdova J, Grande-Cano D. Silvopastoral system with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *J Cleaner Prod* 2013;57:266-279.
- Norheim F, Gjelstad I, Hjorth M, Vinknes K, Langleite T, Holen T, Jensen J, Dalen K, Karlsen A, Kielland A, Rustan A, Drevon C. Molecular nutrition research-The modern way of performing nutritional science. *Nutrients* 2012;4:1898-1944.
- NRC. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Seventh Revised Ed. Washington, DC. USA. National Academy of Sciences. 1996.
- NRC. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Update 2000. Seventh Revised Ed. Washington, D. C., USA. National Academy of Sciences. 2000.
- Núñez DR, Ruiz FA, Huerta BM, Améndola MRD, Álvarez SME, Ramírez VR, et al Ciencia, tecnología e innovación ganadera. Volumen IV. Ciencia e Innovación Tecnológica Agropecuaria. Agricultura, Ciencia y Sociedad Rural 1810-2010. Mata GB, García MMR (Coordinadores). Universidad Autónoma Chapingo. México. 2010:223-216.
- Old CA, Rossow HA, Famula TR. Partitioning of feed intake into maintenance and gain in growing beef cattle: Evaluation of conventional and Bayesian analyses. *J Anim Sci* 2015;93:4826-4842.
- Olmos OG. Efecto de un suplemento nitrogenado, una sal mineral y ionóforo (lasolacida sódica) en el crecimiento de toretes en praderas en el trópico húmedo [Tesis Maestría]. Centro de Ganadería, Colegio de Postgraduados. 1998.
- Ortega GC, Hernández O, Vargas L, Mendoza GD, Martínez PA, Avendaño L. Sensitivity analysis of 1996 National Research Council model for supplemented grazing beef cattle. *Cuban J Agric Sci* 2010;44(1):1-7.
- Ortega NCG. Predicción de cambios de peso de bovinos pastoreando en trópico: desarrollo y aplicación de un modelo de simulación [Tesis Doctorado]. Estado de México, México. Colegio de Postgraduados. 2011.
- Osorio-Arce MM, Segura-Correa JC. Factores que afectan la curva de lactancia de vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de Tabasco, México. *Téc Pecu Méx* 2005;43(1):127-137.
- Panjaitan T, Quigley SP, McLennan SR, Swain AJ, Poppi DP. Digestion of forages in the rumen is increased by the amount but not the type of protein supplement. *Anim Prod Sci* 2014;54:1363-1367.
- Pereda SM, González MS, Arjona SE, Bueno AG, Mendoza MGD. Ajuste de modelos de crecimiento y cálculo de requerimientos nutricionales para bovinos Brahman en Tamaulipas, México. *Agrociencia* 2005;39:19-27.

- Pinos JMR, Ortega CME, Bárcena GR, Mendoza MG, Ayala J. Desarrollo de becerros lactantes a la adición de cultivos de levadura. *La Ciencia y el Hombre* 1998;29:23-30.
- Pinto RR, Ayala BAJ. Los bloques multinutricionales en la ganadería tropical. Chiapas, México. Universidad Autónoma de Chiapas. 2004.
- Poppi DP, McLennan S.R. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *J Anim Sci* 1995;73:278-290.
- Powell JM, MacLeod M, Vellinga TV, Opio C, Falcucci A, Tempio G, Steinfeld H, Gerber P. Feed-milk-manure nitrogen relationships in global dairy production systems. *Livest Sci* 2013;152(2-3):261-272.
- Quigley SP, Dahlanuddin, Marsetyo, Pamungkas D, Priyanti A, Saili T, McLennan SR, Poppi DP. Metabolizable energy requirements for maintenance and gain of liveweight of Bali cattle (*Bos javanicus*). *Anim Prod Sci* 2014;54:1311-1316.
- Ramin M, Huhtanen P. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *J Dairy Sci* 2013;96:2476-2493.
- Román-Ponce SI, Ruiz-López FJ, Montaldo HH, Rizzi R, Román-Ponce H. Efectos de cruzamiento para producción de leche y características de crecimiento en bovinos de doble propósito en el trópico húmedo. *Rev Mex Cienc Pecu* 2013;4(4):405-416.
- Rojo-Rubio R, Vázquez-Armijo JF, Pérez-Hernández P, Mendoza-Martínez GD, Zalem AZM, Albarrán-Portillo B, et al. Dual purpose cattle production in México. *Trop Anim Hlth Prod* 2009;41:715-721.
- Rojo RR, Mendoza MGD, Bárcena, GJR, Pinos RJR, Arce GJ. Consumo y digestibilidad de pastos tropicales estimados por dos metodologías utilizando suplementación nitrogenada y *Saccharomyces cerevisiae*. *Pastos y Forrajes*. 2004;27(4):361-364.
- Sánchez, B, Mendoza GD, Plata FX, Vargas L, Martínez JA, Arcos-García JL. Análisis de sensibilidad y evaluación de un modelo de simulación para estimar el balance calórico en bovinos en trópico húmedo. *Rev Cubana Cien Agríc* 2012;46(1):9-14.
- Sánchez OL, Martínez TJ, García CG, Torres G. El efecto de un ionóforo en la productividad de bovinos pastoreando zacate Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*). *Rev Cient (Maracaibo)* 2007;17:246-254.
- Shelton M, Dalzell S. Production, economic and environmental benefits of leucaena pastures. *Trop Grasslands* 2007;41:174-190.
- Shimada A. *Nutrición Animal*. México, D.F. Editorial Trillas. 2015.
- Soltan YA, Morsy AS, Sallam S. MAR, Lucas C, Louvandini H, Kreuzer M, Abdalla AL. Contribution of condensed tannins and mimosine to the methane mitigation caused by feeding *Leucaena leucocephala*. *Arch Anim Nutr* 2013;63:169-184.
- Spence J. Nutrigenomics and agriculture: A perspective. *J Nutrigen Nutrigenom* 2010;3:290-295.
- Stackhouse-Lawson KR, Rotz CA, Oltjen JW, Mitloehner FM. Carbon footprint and ammonia emissions of California beef production systems. *J Anim Sci* 2012;90:4641-4655.
- Suárez B, Barkin D. *El Fin de la Autosuficiencia Alimentaria*. México. Océano-Centro de Ecodesarrollo. 1985.
- Taschuk R, Griebel P. Commensal microbiome effects on mucosal immune system development in the ruminant gastrointestinal tract. *Anim Hlth Res Rev* 2012;13:129-141.
- Tedeschi LO. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agric Syst* 2006;89:225-247.
- Tedeschi LO, Fox DG, Carstens GE, Ferrell CL. The partial efficiency of use of metabolizable energy for growth in ruminants. In: Energy and protein metabolism and nutrition. Matteo CG editor. EAAP Publication No. 127. The Netherlands. Wageningen Academic Publishers. 2010:519-529.
- Teunissen H, Arroyo, D, Garza, R. Estudio comparativo de producción de carne en 5 zacates tropicales. II. *Téc Pecu Méx* 1966;8:38-45.
- Tinoco-Magaña JC, Aguilar-Pérez CF, Delgado-León R, Magaña-Monforte JG, Ku-Vera JC, Herrera-Camacho J. Effects of energy supplementation on productivity of dual-purpose cows grazing in a silvopastoral system in the tropics. *Trop Anim Hlth Prod* 2012;44:1073-1078.
- Tobias B, Mendoza GD, Aranda EI, González SM, Arjona ES, Plata FP, Vargas L. A simulation model to predict body weight gain in growing steers grazing tropical pastures. *Agricultural Syst* 2006;90:99-111.

Tolkamp B. Efficiency of energy utilization and voluntary feed intake in ruminants. *Animal* 2010;4(7):1084-1092.

Tolleson DR, Schafer, DW. Application of near-infrared spectroscopy and nutritional balance software to monitor diet quality and body condition in beef cows grazing Arizona rangeland. *J Anim Sci* 2014;92:349-358.

Tolleson DR, Schafer, DW. Detection of pregnancy in Arizona range cattle using near infrared spectroscopy of feces. *J Anim Sci* 2012;90:3442-3450.

Valadares FSC, Marcondes MI, Chizzotti ML, Rodrigues PPV. Nutrient requirements of Zebu beef cattle BR-Corte. 2nded. Minas Gerais, Brasil. Federal University of Vicosa. 2010.

Van Soest PJ. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. *J Anim Sci* 1967;26:119-128.

Vargas LV, Ku JV, Vargas FV, Medina SP. Evaluación de un sistema ruminal basado en caña de azúcar mediante un modelo dinámico mecanístico. *Interciencia* 2005;30:424-430.

Vargas-Villamil LM, Tedeschi LO. Potential integration of multi-fitting, inverse problem and mechanistic modelling approaches to applied research in animal science: a review. *Anim Prod Sci* 2014;54:1905-1913.

Wanapat M. Potential uses of local feed resources for ruminants. *Trop Anim Hlth Prod* 2009;41:1035-1049.

White RR, Brady M, Capper JL, McNamara JP, Johnson KA. Cow-calf reproductive, genetic and nutritional management to improve the sustainability of whole beef production systems. *J Anim Sci* 2015;93:3197-3211.

Yuliaty, Low S, Fisher J, Dryden G McL. Energy requirements for maintenance and growth of entire male Bali cattle in East Timor. *Anim Prod Sci* 2014;54:908-914.

Zinn RA, Mendoza GD. Uso de modelos de simulación para la evaluación de corrales de engorda. Memorias del congreso nutrición y manejo de la alimentación en ganado bovino productor de carne. Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal, A.C. Guadalajara Jal. 2000:5-10.

# CAPÍTULO IV

## MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LOS BOVINOS DEL TRÓPICO

Sergio Iván Román Ponce

Ángel Ríos Utrera

Moisés Montaña Bermúdez

Adriana García Ruiz

Vicente E. Vega Murillo

Ana María Sifuentes Rincón

Guillermo Martínez Velázquez

Carlos Vázquez Peláez

Felipe de Jesús Ruiz López

### IV.1 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN EL USO DE CRUZAMIENTO

En la ganadería bovina tropical se pueden encontrar experiencias que van desde la introducción de animales especializados en producción de leche, hasta animales locales adaptados a las condiciones del medio ambiente tropical.

La introducción de animales de razas especializadas a las regiones tropicales no ha tenido éxito, debido entre otras causas a los problemas de salud y adaptación, diferentes objetivos de producción entre las regiones de origen y las regiones tropicales, escasez o ausencia de infraestructura requerida para la recolección y procesamiento de la información producida, así como aspectos genéticos y fisiológicos no similares en el mejoramiento genético de características específicas en las regiones tropicales. Adicionalmente, los costos de mantenimiento y producción con razas especializadas dejan márgenes de ganancia menores o inclusive pérdidas en comparación de los sistemas tradicionales de producción.

Los sistemas de cruzamiento han sido herramientas de mejoramiento genético de las razas locales o criollas y cebuinas, mediante la importación de semen, embriones y sementales *B. taurus* para su uso posterior en hembras locales.

En India se incrementó la producción de leche en un 4 a 6 % anual durante 20 años, principalmente

apareando sementales de razas lecheras especializadas con vacas nativas obteniendo vacas con mayor potencial productivo.

En Tanzania, el uso de sistemas de cruzamiento se remonta a principios de los 30s aunque se formalizó en 1958, mediante el uso de metodologías adecuadas para el desarrollo, pruebas de progenie, selección, sistemas de control de producción y sistemas de apareamiento. Los objetivos principales fueron, por un lado desarrollar una raza de ganado en la cual las vacas produjeran 2,270 kg de leche de buena calidad por año, y que destetaran becerros de buena calidad de canal de alrededor de 230 kg, sin dependencia de grandes cantidades de concentrado; y por el otro determinar los parámetros genéticos de las características del ganado bovino de doble propósito bajo condiciones locales. Aunque no se logró el objetivo de producción, ésta si se vio incrementada al producir en la primera, segunda y tercera lactancias entre 1,200 y 1,530, entre 1,425 y 1,675 y entre 1,475 y 1,800 kg, respectivamente.

En Australia, se tiene como experiencia la formación de la raza Australian Milking Zebu (AMZ), mediante el establecimiento de un programa de cruzamiento y selección, con la finalidad de formar una raza productora de leche y resistente a las enfermedades prevalentes dentro de las regiones tropicales de

Australia. Se utilizaron dos razas Cebú, Sahiwal (SW) y Red Sindhi, y como raza europea se utilizó Jersey, manteniendo los porcentajes de genes Cebú entre el 30 y 35 % y siendo la SW la de mayor uso debido a su comportamiento productivo sobresaliente. Posteriormente se incluyeron genes de razas de mayor tamaño, principalmente Holstein (HS), aunque también las razas Guernsey y Suizo Pardo fueron utilizadas. Los niveles de producción de leche variaron entre 2,000 y 3,500 kg dependiendo de las condiciones de manejo, haciendo mención de un hato en Malasia donde las vacas AMZ promediaron 2,106 kg de leche con 4.5 % de grasa en comparación de 1,917 kg de leche y 3.8 % de grasa de las HS.

En Cuba, en la década de los 60s se iniciaron trabajos de mejoramiento genético basándose en la utilización de la raza Cebú (CE), la cual representaba el 95 % del inventario en ese momento, y en la introducción de la raza HS. El objetivo principal de este programa fue el de llegar a formar una población seleccionada a partir de los animales mejor adaptados a las condiciones ambientales de Cuba, mediante cruzamientos absorbentes utilizando sementales de alto valor genético, y creando nuevas razas donde no se excediese el 75 % de genes de origen Holstein. Los genotipos a desarrollar fueron Siboney [SBC] (5/8 HS 3/8 CE), Mambi [MMC] (3/4 HS 1/4 CE), Taino (5/8 HS 3/8 Criollo) y Caribe de Cuba (5/8 HS 3/8 Santa Gertrudis). La producción de leche de SBC presentó un rango de producción entre 2,500 y 2,809 kg y una duración de lactancia entre 257 y 271 días; y para MMC la producción de leche reportada fue de 3,403 kg en 270 días basada en 1,780 registros productivos. Las heredabilidades estimadas para leche total fueron  $0.26 \pm 0.06$  y  $0.25 \pm 0.04$  en SBC y MMC, respectivamente. Como resultado de varias comparaciones entre MMC y SBC, se obtuvo que para la producción a 244 días la diferencia favorece a MMC en alrededor de 200 kg; sin embargo el porcentaje de grasa favorece a SBC, por lo que al final la producción de grasa total es igual para ambos genotipos.

En Brasil, la experiencia se basa en la utilización de razas europeas, principalmente HS y CE, predominantemente Gyr y Guzerat. Lo cual tuvo como objetivo obtener vacas cruzadas para sistemas donde la producción de leche fuera de 2,500 kg/vaca/año, fijando un genotipo de 5/8 HS x 3/8 CE, tomando esta decisión con base a una encuesta donde se puntualizó que los genotipos 5/8, 3/4 y 7/8 eran los que mejor comportamiento productivo presentaban en comparación con la media sangre y los animales puros. La producción

promedio de los 14 hatos elite para la selección de hembras, fue de 2,549 kg en 6,092 lactancias de 2,300 vacas.

En Venezuela, la información disponible mencionan promedios de producción de leche y producción de leche corregida a 305 días de  $4,214 \pm 625.69$  y  $4,581.60 \pm 783.97$  y de  $5,147.89 \pm 869.03$  y  $5,715.85 \pm 1,029.81$ , para dos grupos raciales, 1/2 y 3/4 HS, respectivamente.

## IV.2 EXPERIENCIAS NACIONALES EN EL USO DE CRUZAMIENTO PARA CRECIMIENTO CORPORAL

En México, los primeros intentos de realizar mejoramiento genético se realizaron mediante la introducción de razas especializadas en producción de leche (como la HS y SP de países como Estados Unidos de América y Canadá), como fue el caso de lo que se denominó “Complejo Agroindustrial de la Chontalpa” que contó con 22 ejidos y 81,000 ha en el año de 1966, mediante un crédito de 80 millones de dólares estadounidenses del Banco Interamericano de Desarrollo y del Gobierno Federal. Dentro de las experiencias de la Chontalpa se obtuvieron lactancias totales en promedio de 3,075 kilos de leche y 327 días de duración de lactancia. En resumen, La Chontalpa fue uno de los mayores fracasos de la industria pecuaria en México, debido a la falta de viabilidad económica, y a la elección de un sistema de producción impulsado y promovido para esta región inadecuado para sus condiciones ambientales y de producción.

Similarmente, el Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias, hoy Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), realizó trabajos de introducción de razas especializadas de origen europeo, que se remontan a 1962 en el Campo Experimental La Posta, cuando se adquirieron vacas de las razas Holstein, Suizo Pardo y Jersey de las regiones templadas de México, principalmente del Bajío, y de países como Estados Unidos de América y Canadá, con la finalidad de encontrar las prácticas adecuadas que permitirían a los animales expresar su potencial. Resultado de este esfuerzo se cuenta con reportes de producciones de leche por lactación de 3,661 y 2,723 kg de leche por lactancia en 300 y 295 días para las cruces de Cebú con las razas Holstein y Suizo Pardo, respectivamente. Posteriormente en el mismo campo experimental se reportaron producciones de leche por lactación con base en 228 y 259 observaciones para Holstein y Suizo Pardo de  $3,212 \pm 72$  y  $2,737 \pm 55$  con

duraciones de lactación de  $310 \pm 5.5$  y  $301 \pm 5.0$  días, respectivamente.

En la sierra oriente de Puebla, en el Campo Experimental Las Margaritas (INIFAP), en un hato de ganado SP manejado en pastoreo continuo, se reportaron 48 lactancias completas, presentando una producción de leche total  $2,434 \pm 503$  kg y una duración de lactancia de  $295 \pm 43$  días. Posteriormente, en 1987 se reportaron producciones de leche de 3,311 kilos por lactancia y 311 días de lactancia, utilizando la información de 653 lactancias de vacas SP y más tarde, en 1989, se reportaron producciones de leche de 1,725 kg por lactancia y 317 días de duración de lactancia, bajo un sistema de manejo de doble propósito. En Oaxaca se reportó que vacas de la raza SP presentaron producciones de leche diarias de 5.8 kg por día.

En Yucatán, en el Campo Experimental "Tizimín" (CET) del INIFAP, se reportaron producciones de vacas HS en un sistema de pastoreo rotacional de 2,385 kilos de leche por lactancia en 336 días de lactancia.

Se han reportado experiencias en explotaciones particulares. En un rancho comercial en la región Huasteca de Veracruz, presentaron producciones de leche de  $762 \pm 23.5$  kilos de leche por lactancia en  $168 \pm 3.8$  días de lactancia, con el ganado CR (cruzas indefinidas de CE y SP) del rancho, y conforme se implementó un sistema de cruzamiento alterno con toros HS y CE manteniendo la proporción de genes europeos entre 50 y 75 %, se alcanzaron producciones superiores a los 1,300 kg.

Dentro de los primeros reportes sobre resultados de animales cruzados, en el Campo Experimental La Posta (CELP) reportaron la producción y duración de lactancias de 62 y 25 observaciones de vacas F1 HS y SP por CE, donde las primeras mostraron 2,149 kilos en 214 días y las segundas 1,302 en 173 días. En el Campo Experimental Aldama (CEA) se describieron la producción de vacas HS X CE en sistemas de pastoreo rotacional intensivo y semintensivo, obteniendo producciones de leche de 2,313 y 274 días de lactancia. Así mismo, en el CET se reportó que vacas HS X CE en un sistema de pastoreo rotacional alcanzaron producciones de 2,654 kilos de leche por lactancia en 336 días de lactancia. Por otro lado, en Oaxaca las vacas de la raza SP X CE, JE X CE y HS X CE presentaron producciones diarias de 5.50, 3.28 y 3.39 kilos de leche.

En el Campo Experimental "Balancán" (CEB), se obtuvieron producciones de leche para vacas HS,

SP y Simmental (SM) por CE, presentando rangos para cada grupo genético de 677 a 1,309, 588 a 1,204 y 910 a 1,168 kilos por lactancia y de 203 a 229, 203 a 220 y 200 a 257 días de duración de lactancia, respectivamente. En el Campo Experimental "Playa Vicente" (CEPV) se estimaron producciones de leche para vacas 1/2 SP y 1/2 SM por CE de 1,410 en 254 para las primeras y 1,371 en 261 para las segundas. En el Campo Experimental Las Margaritas (CELM) con información de vacas 1/2 HS, 1/2 SP y 1/2 SM por CE, se reportaron producciones de leche de 1,632, 1,159 y 1,193 kilos por lactancia en 280, 243 y 240 días de lactancia.

Las experiencias anteriores dieron origen al Proyecto Nacional "Mejoramiento Genético del Ganado Bovino de Doble Propósito en el Trópico Mexicano", donde participan diversos campos experimentales del INIFAP distribuidos dentro de las regiones tropicales de México y que tiene como objetivo la formación de tres razas sintéticas especializadas en doble propósito, con una constitución genética 5/8 HS, 5/8 SP y 5/8 SM por CE, reportó el comportamiento productivo de los diversos genotipos utilizados y evaluados por dicho proyecto. Siendo los genotipos que se encuentran entre el 50 y 75 % de genes B. taurus los que mejor comportamiento productivo han presentado dentro de los hatos participantes en el mencionado proyecto.

### IV.3 EXPERIENCIAS NACIONALES PARA PRODUCCIÓN DE LECHE

Con la información del CELP, varios investigadores han generado un gran número de reportes sobre el crecimiento corporal de animales de razas especializadas y sus cruzas. Los investigadores de este centro experimental reportaron pesos al nacimiento y al destete de las hembras y machos de las razas HS y SP y las F1 y F2 de sus cruzas con CE, donde los becerros se separaron al cuarto día de la madre y el destete se realizó a los 60 días. Las hembras y machos HS, F1 y F2 mostraron pesos al nacimiento en kilogramos de 33.2, 31.3 y 32.6 para hembras y 38.2, 31.6, y 34.8 para machos, y al destete de 62.7, 58.7, y 61.0 para hembras y 66.9, 59.8 y 60.4 para machos, respectivamente; y para SP, F1 y F2 mostraron pesos al nacimiento en kilogramos de 35.7, 32.8 y 32.4 para hembras y 38.3, 38.4 y 36.0 para machos, y al destete de 63.7, 61.5 y 66.5 para hembras y 67.3, 70.8 y 59.3 para machos, respectivamente. Posteriormente, se reportaron los promedios de los pesos al nacimiento, destete (60), 90 y 120 días de becerros para HS de  $32.60 \pm 1.60$ ,  $64.00 \pm 1.90$ ,  $76.10 \pm 2.50$  y  $89.50 \pm 3.30$  kg, para SP de  $40.20 \pm 0.86$ ,  $73.70 \pm 1.30$ ,  $81.00 \pm 1.15$  y

91.90 ± 1.80 kg, para HS x CE de 33.80 ± 1.20, 67.50 ± 2.00, 76.80 ± 2.20 y 90.90 ± 1.80 kg y para SP x CE de 38.50 ± 1.60, 69.40 ± 3.20, 80.00 ± 3.00 y 99.40 ± 4.40 kg, respectivamente. Posteriormente a través de un experimento donde se evaluaron dos niveles de alimentación reportaron pesos al nacimiento, 6, 12 y 18 meses de vaquillas para HS de 35 y 38 kg, 116 y 114 kg, 225 y 231 kg y 335 y 350 kg, y para SP de 35 y 34, 112 y 112, 215 y 246 y 313 y 380, para ambos niveles de alimentación, respectivamente. En todos los reportes anteriores la raza SP y su cruce con cebú fue más pesada que la HS y su cruce con cebú. En 1983 se analizó el peso al nacimiento, peso y edad a la primera inseminación y a la primera concepción de vaquillas de las razas HS y SP desde 1963 hasta 1981. Los resultados mostraron peso al nacimiento para HS de 35.00 ± 2.0 kg y para suizo de 35.1 ± 1.7 kg. El peso y edad la primera inseminación para HS fueron de 381.00 ± 14.00 a los 683.0 ± 22.90 días y para SP de 382.00 ± 12.80 a los 699.0 ± 21.70 días y para el peso y la edad a la primera concepción para HS fueron de 391.6 ± 14.7 kg y 724.0 ± 25.0 días y para SP de 392.00 ± 13.3 kg y 763.0 ± 23.7 días.

En el municipio de Playa Vicente en el estado de Veracruz en el CEPV, se reportaron los pesos al nacimiento, destete, 12 y 18 meses de hembras y peso al nacimiento y destete de machos de los grupos raciales 1/2 SM y SP X CE. Para el caso de las hembras 1/2 SM los promedios fueron 22.2, 221.0, 330.3 y 386.6 kg y para las hembras 1/2 SP 33.3, 217.6, 278.0 y 361.4 kg respectivamente. Los machos 1/2 SM 336 y 233.0 kg y para los 1/2 SP 34.4 y 226.5 kg, respectivamente. En una segunda etapa durante la cual se dio seguimiento a la información generada en este centro de investigación, en 1988 se reportaron los promedios de pesos al nacimiento, a los 90 días y al destete de los grupos raciales 3/4 SP y SM X CE. Siendo para el grupo racial 3/4 SP 34, 92 y 142 y 37, 101 y 152 kg, hembras y machos respectivamente, y para el grupo racial 3/4 SM 36, 98 y 163 y 38, 103 y 175 kg, hembras y machos respectivamente.

En Oaxaca se reportaron pesos al nacimiento y a los 270 días de animales cruce de HS X CE, CE, SP y ¾ SP X CE de 33 y 218.0 kg; 29.1, y 183.6 kg; de 37.1 y 162.6 kg y de 42 y 159.1 kg, respectivamente.

En Tabasco utilizando información del CEB se reportaron los promedios de los pesos al nacimiento, destete y los 12 meses de nueve grupos raciales de HS, SP y SM X CE entre 1980 y 1986. Las hembras 1/2 HS tuvieron pesos de 34, 155 y 220 kg y los machos 37, 180, 233 kg; las hembras 1/2 SP tuvieron pesos de 35, 166 y 217 kg y los machos 38,

175, 226 kg. Las hembras 1/2 SM tuvieron pesos de 34, 151 y 209 kg y los machos 36, 176, 242 kg. Las hembras 3/4 HS tuvieron pesos de 39, 138 y 193 kg y los machos 38, 148, 222 kg. Las hembras 3/4 SP tuvieron pesos de 38, 134 y 191 kg y los machos 39, 132, 188 kg. Las hembras 3/4 SM tuvieron pesos de 39, 143 y 188 kg y los machos 40, 152, 218 kg. Las hembras 1/4 HS tuvieron pesos de 37, 147 y 191 kg y los machos 40, 162, 247 kg. Las hembras 1/4 SP tuvieron pesos de 40, 165 y 210 kg y los machos 45, 176, 227 kg. Las hembras 1/4 SM tuvieron pesos de 40, 167 y 211 kg y los machos 38, 150 y 241 kg.

En la sierra oriente de Puebla, en el CELM se reportó el comportamiento de hembras y machos de la raza SP utilizando la información generada dentro del periodo de 1979 a 1987. Los pesos al nacimiento, a los 3, 6, 12 y 18 meses para las hembras fueron 38.4, 95.0, 128.8, 238.2 y 351.5 kg, respectivamente. Para los machos la información que reportó fue peso al nacimiento, 3, 7 y 12 meses siendo los promedios 40.3, 101.5, 138.4 y 235.9, respectivamente. En 1989 se reportó el comportamiento de hembras y machos de los grupos raciales SP, y 3/4 SP, HS y SM X Cebú en el CELM, donde para el caso de las hembras los pesos al destete, 12 y 18 meses fueron para cada uno de los grupos raciales 128, 185 y 282 kg, 184, 236 y 344 kg, 178, 239 y 354 kg, 171, 233 y 337 kg, respectivamente. Para los machos los autores reportaron pesos al destete y 12 meses de los mismos grupos raciales de 132 y 191, 181 y 249, 178 y 262, 182 y 263, respectivamente.

## IV.4 EVOLUCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS GENÓMICAS APLICADAS A LA CARACTERIZACIÓN DE POBLACIONES DE GANADO BOVINO (*TAURUS/INDICUS*)

En las últimas décadas, la genómica aplicada a especies de interés pecuario ha tenido un enorme progreso. La evolución de esta área definida como el estudio de la estructura, función e interrelaciones de los genes y el genoma en su totalidad, ha pasado de la construcción de mapas genéticos y físicos, ubicando en estos marcadores moleculares útiles en la disección genómica, a la secuenciación de genomas completos. En última instancia, lo que se espera de esta información es obtener el dominio sobre la descripción fundamental de la función celular a nivel del ADN que incluye aspectos de regulación génica, expresión proteica e interacción entre proteínas.

El genoma de bovino está compuesto de 29 pares de cromosomas autosómicos y dos pares de cromosomas sexuales. A excepción del cromosoma

X, los demás cromosomas son acrocéntricos. Al igual que otras células de mamíferos, la cantidad total de ADN por célula diploide es de  $6 \times 10^{-12}$  g. Otra característica de los genomas de rumiantes y en particular el de bovino, es que está compuesto aproximadamente de un 50 % de secuencias repetitivas de diferentes características y orígenes. De estas secuencias repetitivas, los microsatélites son las más abundantes, seguidas de los retroelementos SINE (Elementos Intercalados Cortos, por sus siglas en inglés) de menos de 400 pb y los LINE (Elementos Intercalados Largos, por sus siglas en inglés) de varias kilobases. Se ha estimado que el 45 % de los microsatélites en el genoma de los bovinos, están asociados a las regiones SINE (SINE/microsatélites).

Inicialmente destinados a la investigación en humanos, la facilidad técnica para identificarlos e implementarlos, convirtió a los microsatélites en una herramienta muy útil para la investigación en bovinos. Estos marcadores fueron extensivamente utilizados en la construcción de mapas genéticos, en estudios de genética de poblaciones, diversidad genética y análisis de paternidad. También llamados marcadores indirectos, el uso potencial de los microsatélites se centró en la descripción de QTLs para diferentes rasgos productivos y para el posicionamiento de los genes candidatos asociados al rasgo productivo estudiado. Un ejemplo fue la disección genómica del doble músculo. Los animales caracterizados por una musculatura excepcional son conocidos comúnmente como individuos de doble musculatura. El análisis de mapeo comparativo entre humano y bovino ubicó a este gen en el final centromérico del cromosoma dos (BTA2). En 1998 se realizaron los primeros estudios familiares para el mapeo fino de la región genómica en la cual reside el locus miostatina (MSTN). Para lograrlo, se usaron seis marcadores microsatélites que flanquean al locus. Estos marcadores fueron BMC9007, BY5, TGLA44, INRA040, TGLA377 y BMS1300. Con estos marcadores se ubicó al gen MSTN a dos cM de distancia del marcador TGLA44 y se describió la asociación del efecto de los alelos mh sobre la canal y calidad de la carne con límites de confianza entre dos y seis cM. Se ha descrito un miembro de la Superfamilia de Factores de Crecimiento TGFbeta como el causante del incremento en masa muscular en ratón. Estudios posteriores a este reporte, demostraron que en razas europeas como Belgian Blue y Piedmontese algunas mutaciones en el gen MSTN provocan la pérdida de funcionalidad de la proteína, expresándose el doble músculo. Desde esa fecha MSTN ha sido ampliamente estudiado en las diferentes razas de ganado bovino, se han descrito

diferentes alelos asociados con el fenotipo de DM y se han propuesto diferentes estrategias para el aprovechamiento productivo de este fenotipo.

Además del uso de los microsatélites, la exploración de genes candidatos, es decir, genes cuya función es conocida, permitió la descripción en ganado bovino, de una gran cantidad de marcadores asociados a los diferentes rasgos de interés productivo, especialmente de aquéllos que son difíciles de medir, como los de calidad de la carne que incluyen la suavidad y marmoleo. Son cuatro marcadores localizados en los genes calpastatina, calpaína y tiroglobulina que forman parte de las pruebas diagnósticas para suavidad y marmoleo que están comercialmente disponibles y los asociados a suavidad han sido validados para su uso, pues explican hasta el 20 % de la variabilidad genética de la característica. Para estos marcadores se ha evaluado el efecto de cada genotipo y los haplotipos formados por los dos marcadores de calpaína y combinados con cualquiera de los genotipos de calpastatina, encontrándose que están significativamente asociados con la disminución en la fuerza de corte Warner-Bratzler, por lo que son predictores de la terneza de la carne. Sin embargo, la búsqueda de los principales genes que controlan rasgos cuantitativos relacionados con la producción en el ganado ha tenido un éxito limitado, debido principalmente a que los efectos de un solo gen tienden a ser pequeños, y el número de marcadores genéticos disponibles son insuficientes para estimar con precisión los efectos.

Los avances tecnológicos aplicados a la genómica permitieron el desarrollo de plataformas para la rápida y no tan costosa obtención de genomas completos de diferentes especies domésticas. La secuencia del genoma bovino se obtuvo y ensambló inicialmente con una cobertura de 7X y fue publicado el Consorcio para la Secuenciación y Análisis del Genoma Bovino en abril de 2009. En esta publicación se reportaron aproximadamente 22,000 genes y 14,345 ortólogos compartidos entre siete especies de mamíferos. La versión mejorada del genoma (9.5X) se hizo pública en el mismo año, y desde entonces el reto ha sido dar sentido funcional y biológico a toda la información obtenida, por lo que se han creado diferentes iniciativas como son el Bovine Genome Sequencing and Analysis Consortium (BGSAC) y Functional Annotation of Animal Genoma Project; ambas iniciativas son de carácter internacional y están enfocadas a obtener información y mapas funcionales del genoma bovino.

La secuenciación del genoma bovino permitió la verificación y descripción de una gran cantidad de Polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) entre las diferentes razas de ganado bovino. Los SNP son el tipo más común de variación genética identificada en los genomas de mamíferos, y rápidamente se convirtieron en los marcadores más populares para los diferentes estudios de genómica en bovinos. Los SNP son mutaciones de un solo par de bases en un locus específico, por lo general constan de dos alelos donde la frecuencia del alelo más raro es  $\geq 1\%$  (MAF).

Aunque en términos de informatividad los SNP podrían ser considerados no tan óptimos (son bialélicos) comparados con los microsátélites, presentan características como son amplia abundancia, estabilidad y baja tasa de mutación (108) en comparación con los microsátélites (103), nomenclatura más simple y lo que es más importante, posibilidades de automatización del proceso de tipificación y de interpretación de los datos.

Actualmente, se han desarrollado arreglos de SNP de alta densidad como el Illumina BovineSNP50, GeneSeek GGP-HD 77K y el Bovine Bead Chip 778K SNP, que han sido ampliamente utilizados para el mapeo genómico, el descubrimiento de regiones genómicas asociadas a rasgos productivos complejos, y se han vuelto fundamentales para el desarrollo de la Selección Genómica (GS) y los estudios de asociación de genoma completo (GWAS). La GS y el GWAS, están descritos como potentes procedimientos en los que estadísticamente se correlacionan grandes cantidades de datos genéticos y fenotípicos, para hacer predicciones sobre el mérito genético del animal, y de esta manera maximizar, o acelerar el proceso de selección.

Otros chips, tales como el micro arreglo de baja densidad (3K), el chip de parentesco (96 SNP), se encuentran comercialmente disponibles y fueron diseñados para utilizarse en los programas de mejoramiento genético.

La publicación de los primeros mapas del genoma completo del bovino también trajo consigo la descripción en esta especie de otras variantes estructurales del genoma: las variantes de número de copias o CNV. Estas se describen como un segmento de ADN  $\geq 1$  kb que es una copia variable de número en comparación con un genoma de referencia. Esta fuente de variación genómica en otras especies se ha asociado a susceptibilidad a enfermedades, y en bovinos se está estudiando

adicionalmente su posible asociación a la productividad.

## IV.4.1 DIVERSIDAD FENOTÍPICA Y GENÉTICA DEL GANADO BOVINO

De la familia *Bovidae*, los mamíferos del género *Bos taurus* han sido a través de la historia los más domesticados. Esta especie es sin duda una de mayor domesticación en el mundo y como sector productivo, a nivel mundial el sector pecuario es uno de los que han crecido más rápido.

Diversas investigaciones afirman que el género *Bos taurus* alberga las subespecies *Bos taurus taurus* (*B.t. taurus*) y *Bos taurus indicus* (*B.t. indicus*), las cuales sufrieron un proceso de diferenciación evolutiva hace aproximadamente 300 mil años, y un segundo proceso (que coincide con el periodo en el que se registra el inicio de la domesticación del ganado) hace 10 mil años. Tomando en cuenta que el proceso de diferenciación se dio en regiones geográficas y ambientalmente distintas, se comprende que derivó en el desarrollo de características y cualidades únicas en ambas subespecies. También se debe considerar que la selección intensiva del ganado hacia determinados caracteres y aptitudes, además de su respectiva carga genética, han llevado al desarrollo paulatino de las características propias de cada raza dentro de las dos subespecies. Así es como en la actualidad se llega a la cuenta de aproximadamente 800 razas bovinas distribuidas en todo el mundo, las cuales pueden ser clasificadas de acuerdo a su origen geográfico y a su fin productivo.

Las subespecies *B.t. taurus* y *B.t. indicus* tienen características únicas que van más allá de las diferencias fenotípicas evidentes, como la ausencia y presencia de joroba o giba respectivamente. La divergencia entre ambas subespecies originada por las migraciones, aunada a otros factores, favoreció el desarrollo de caracteres únicos que se pueden ver a diferentes niveles.

Por ejemplo, basándose en respuestas fisiológicas como temperatura rectal, tasa de respiración y de sudoración, se ha reportado que razas Cebú tienen umbrales más altos de tolerancia al calor (hasta 5°C más) que animales taurinos, lo cual puede deberse a una mayor densidad de glándulas sudoríparas y a un diámetro mayor de las mismas en los Cebú; estudios que fueron realizados mediante análisis histológicos de piel en animales de la raza Sahiwal (*B. t. indicus*), Holstein Friesian (*B. t. taurus*) y en cruza de esta última.

Asímismo, se sabe que las razas de fondo genético taurino son más susceptibles a enfermedades transmitidas por garrapatas. Por ejemplo, realizaron un experimento relacionado con la infectividad de *Theileria parva*, parásito causante de la theileriosis cuyo vector es la garrapata, encontrando que *B. t. indicus* presenta una mayor resistencia a esta enfermedad también llamada la fiebre de la costa este que *B. t. taurus*, tanto en animales originarios de las zonas endémicas de la enfermedad como en procedentes de zonas libres de la misma.

Otro aspecto sobre el cual se han reportado diferencias entre subespecies bovinas es su fisiología reproductiva, específicamente el tiempo que tardan en llegar a la madurez reproductiva los animales de razas taurinas es menor que en las razas cebuinas (6 a 12 meses más tardía en estos últimos); y también se ha observado que el periodo de estro en taurinos es más largo que en animales índicos.

Más recientemente el análisis del genoma parcial o completo de estas subespecies ha permitido documentar las diferencias que a nivel molecular se presentan entre las subespecies *B. t. taurus* y *B. t. indicus*. Recientemente se ha analizado la secuencia del mtADN y se reportó que ésta difiere únicamente en un solo nucleótido (16,338 y 16,339 respectivamente) pero presentan diferencias en 237 posiciones correspondientes a sustituciones nucleotídicas e indels (inserciones/delecciones), lo cual es útil para estudiar la divergencia evolutiva entre ambas subespecies. Otro tipo de análisis molecular que se ha hecho es la búsqueda de SNP en el genoma completo para investigar los posibles efectos de estos polimorfismos en rasgos de interés. Incluso se ha resecuenciado el genoma de *B.t. indicus* y se han encontrado polimorfismos que posiblemente estén involucrados en la expresión de rasgos característicos de la subespecie.

#### IV.4.2 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GENÉTICA DE RAZAS O POBLACIONES DE GANADO BOVINO

Las poblaciones de ganado tropical están formadas por varias razas y en su gran mayoría, el ganado es producto de cruzamientos entre las razas, que se ha realizado por varios años. Si se desea realizar un programa de mejoramiento genético es estas poblaciones, es importante primeramente conocer la composición genética de las poblaciones. Anteriormente, cuando la información genómica no estaba disponible, la relación genética entre los animales se estudiaba a través del análisis de

pedigrí; desafortunadamente esta información no siempre estaba disponible o era incompleta, lo que resultaba en estimaciones de valores genéticos erróneos o se limitaba la realización de estudios genéticos en las poblaciones.

Actualmente, con la disponibilidad de SNP a través de los análisis de mezcla, es posible estimar con exactitud la composición de una raza sintética o de una población sin el conocimiento previo de la información genealógica. A través de estos análisis, es posible determinar el origen del material genético que proviene de cada uno de los grupos ancestrales o razas de origen. Otros análisis que permiten estudiar la información genómica son los Componentes Principales, que permiten estudiar la relación entre razas de ganado o poblaciones, y son una herramienta útil para determinar la composición de las poblaciones de acuerdo a las frecuencias alélicas que los individuos presentan.

Se han conducido análisis de mezcla en ganado bovino para entender mejor las diferencias genéticas entre *Bos taurus taurus* y *Bos taurus indicus* y la composición genética de algunas razas o de ganado cruzado. Se ha encontrado que hace aproximadamente 330,000 años se inició la divergencia entre estas dos especies, y se han diferenciado genéticamente de acuerdo a las adaptaciones climatológicas y a la distribución geográfica de las mismas. A través de los análisis de mezcla ha sido posible identificar el origen del material genético de acuerdo al origen ancestral de los animales, ya que como resultado de los cruzamientos, se tiene la formación de haplotipos específicos. Estos haplotipos varían de tamaño debido a la naturaleza aleatoria de la recombinación, pero se vuelven progresivamente más cortos con el aumento de las generaciones, por estar sujetos a una mayor tasa de recombinación. En la caracterización de las poblaciones, estos análisis evalúan el origen de los alelos, que pueden provenir de diferentes razas o poblaciones.

Un estudio de análisis de mezcla y de componentes principales que incluyó a 134 razas de todo el mundo, mostró que la domesticación, exportación de animales, cruzamientos, y la formación de razas han tenido un tremendo impacto en la variación genética presente dentro y entre las razas de ganado. En Asia, África, América del Norte y del Sur, los ganaderos han cruzado ganado *Bos t. taurus* y *Bos t. indicus* para producir híbridos bien adaptados a los sistemas de producción endémicas y medio ambiente. Se identificaron las relaciones entre las razas de ganado en todo el mundo y se dilucidó la complicada historia de ganado asiático que implica la domesticación y la posterior mezcla de varias

especies. Se identificó la presencia de cruzamientos entre bovinos domesticados y el uro salvaje africano que formaron las razas taurinas existentes en África. Se demostró la ausencia de material genético indicus dentro de la mayoría de las razas taurinas europeas, pero para las razas italianas se detectó la presencia de indicus. Se comprobó que las razas de ganado en Asia se derivaron de ganado domesticado en India o importados de Europa.

### IV.4.3 NUEVAS PERSPECTIVAS PARA DIRIGIR LOS CRUZAMIENTOS DEL GANADO TROPICAL

Se ha demostrado el gran potencial que presentan los cruzamientos de ganado bovino en los trópicos para el incremento de la producción láctea y de carne. Pero además de esta característica, es importante considerar otras que son de interés económico, de adaptación y funcionales, para ser incorporadas en los programas de selección y de cruzamiento en ganado tropical.

En los últimos años, el uso de los arreglos de SNP de alta densidad, ha permitido la detección de numerosas regiones del genoma, asociadas con grandes efectos sobre la adaptación de los animales a climas tropicales, sin comprometer la productividad de los mismos; el objetivo final de estos estudios sería incrementar las frecuencias de las regiones del genoma favorables en estas poblaciones y dirigir un programa de selección genómica.

En el Cuadro 1 se muestran los detalles de las regiones genómicas asociadas con cada una de las características de interés en ganado tropical y se detallan a continuación.

- a) Resistencia a garrapata. *Rhipicephalus microplus* o la garrapata de bovinos es un ectoparásito que se alimenta de la sangre de los animales. Su importancia radica en que son vectores de transmisión de otras enfermedades como la *Babesia* y *Anaplasma*, y grandes infestaciones pueden causar anemia y provocan grandes pérdidas económicas en la ganadería. Un mecanismo de medición del grado de afección de este parásito es a través del conteo de mordeduras que presenta un animal, y se obtiene una puntuación a través de una transformación logarítmica.

En ganado cruzado se estimó una heredabilidad ( $h^2$ ) moderada (de 0.35 a 0.41) para esta característica, y en líneas puras como la Brahman se estimó una  $h^2$  baja (0.09). Se han detectado SPN asociados con la resistencia a estos parásitos en cruces de ganado Holstein con Gyr en los cromosomas 2, 3, 5, 7, 10, 11, 14, 23 y 27 y en poblaciones tropicales se encontró un marcador de SNP (BovineHD0200039167) en el cromosoma 2 que explica el 30 % de la variación genética para resistencia a garrapatas.

- b) Susceptibilidad a *M. paratuberculosis*. La paratuberculosis bovina es una enfermedad crónica e incurable que produce cuantiosas pérdidas económicas por disminución de la producción, eliminación prematura de animales infectados y disminución del valor comercial de canales. Su diagnóstico es a través del cultivo de heces o tejido. Se han detectado regiones del genoma que se encuentran en los cromosomas 5, 20 y 21, altamente asociadas con la resistencia a la enfermedad en ganado tropical, herramienta que puede utilizarse para realizar la selección de animales.

- c) Resistencia a Tripanosomiasis. Es una enfermedad parasitaria producida por protozoos del género *Trypanosoma*. *T. vivax* y *T. theileri*, especies existentes en América Latina. Su transmisión es por vía mecánica a través de dípteros hematófagos (*Tabanidae* y *Stomoxys*), garrapatas e insectos. Los métodos más utilizados en el diagnóstico son: el frotis fresco, el frotis delgado o extendido, la gota gruesa, la punción ganglionar, la inoculación de animales de laboratorio, el cultivo y la microcentrifugación o técnica de Woo. En ganado tropical, se detectó que el cromosoma 4 presenta una amplia región del genoma (47.4 Mbp) asociada a la resistencia de esta enfermedad.
- d) Capa lisa. Es una característica hereditaria dominante que está altamente asociada con la termotolerancia y la adaptación del ganado en el trópico. La capa lisa está determinada por la presencia de pelo muy corto, liso y brillante, que permite mantener temperaturas bajas del cuerpo bajo condiciones de calor extremas.

La  $h^2$  estimada en ganado Brahman y cruzado en el trópico es de 0.41 y 0.53 respectivamente. Se realizaron análisis de asociación del genoma en tres razas de ganado tropical (Senepol, Carora y Romosinuano), tres líneas de cruzamiento (Senepol X Angus, Senepol X Holstein y Romosinuano X Angus) y animales de la raza Angus, Red Poll, N'Dama, Holstein, Pardo Suizo y Cebú y se encontraron 35 SNP del cromosoma 20 que están asociados con la capa lisa.

- e) Tolerancia al calor. Carácter que se mide a través de la frecuencia respiratoria y temperatura rectal de los animales. Su importancia radica en que el animal mantenga sus niveles de producción (carne y leche) en ambientes cálidos. Para esta característica, se han reportado heredabilidades bajas (0.14 a 0.22) en poblaciones cruzadas y de ganado Brahman respectivamente. Se ha identificado una región del genoma con 9 SNP moderadamente asociada con la tolerancia al calor y se encuentra en el gen en HSP90AB1 ubicado en el cromosoma 23.
- f) Además de los caracteres mencionados, se han estudiado otras características de interés en ganado tropical en diversas poblaciones, y que se les ha determinado un componente genético ( $h^2$ ) y genómico (Cromosoma: posición de QTL), entre las cuales destacan: 1) tiempo de huida en segundos ( $h^2=0.44$ ; 9:49377393), que es una medición del temperamento del animal que determina que tan excitable o nervioso es un animal ante la presencia de los humanos; 2) color de la capa ( $h^2=0.53$ ; 5:57681031 y 13:64153417), que se relaciona con la absorción de calor y radiación, y está altamente vinculado con la tolerancia al calor y el consumo de agua; 3) carga parasitaria medida a través de la cantidad de huevecillos en heces ( $h^2=0.56$ ; 21:66320006), que es una característica asociada a la capacidad de los organismos a ser parasitados; 4) vaina o piel del ombligo ( $h^2=0.57$ ; 5:46352065 y 5:48506281), que se encuentra altamente asociado con el rendimiento reproductivo de los toros y la capacidad de los animales para irradiar calor.

Cuadro 1. Regiones genómicas asociadas con características de interés en ganado cruzado en regiones tropicales				
Característica	Cromosoma	Ubicación del QTL (cM)	Extensión del QTL	Raza
Resistencia a garrapata	2	58.4	43.468.7 (cM)	Cruza ganado Holstein y Gyr
			28.445.6 (Mbp)	
	5	93.1	85.599.3 (cM)	
			48.954.5 (Mbp)	
	10	n/a	53.990.5 (cM)	
			30.760.8 (Mbp)	
	11	57.4	38.669.1 (cM)	
			21.840.0 (Mbp)	
	23	46.2	42.254.2 (cM)	
			22.429.7 (Mbp)	
	23	56.5	49.566.6 (cM)	
			28.539.1 (Mbp)	
	27	n/a	016.6 (cM)	
			1.110.8 (Mbp)	
3	69	43.343.5 (Mbp)	Ganado lechero de distintas razas o Brahman o tropicales de ganado de carne.	
14	99.57	21.022.0 (Mbp)		
Resistencia a Trypanosomiasis	5	92.9	12.63117.3 (cM)	Cruza ganado Holstein y Gyr
			9.066.1 (Mbp)	
	7	42.8	5.6116 (cM)	
			2.058.4 (Mbp)	
14	20.5	5.193.5 (cM)		
		2.946.6 (Mbp)		
Susceptibilidad a paratuberculosis	5	115.47	43.043.9 (Mbp)	Gama de razas no especificadas
	20	14.31	21.022.0 (Mbp)	Brahman x Angus Sire y vacas F1 de raza mixta; y una población con la composición de raza desconocida
	21	9.26	21.022.0 (Mbp)	
Capa Lisa	20	43.02	20.021.0 (Mbp)	Diversas razas
Tolerancia al calor	23	22.8	15.715.9 (Mbp)	<i>Bos taurus</i> (mezclas Holstein Friesian) y <i>Bos indicus</i> (tailandeses ganado nativo, White Lamphun, y el ganado de montaña) en Tailandia.
	23	22.8	15.615.7 (Mbp)	
	23	22.8	15.715.9 (Mbp)	

## IV.4.4 OPORTUNIDADES Y LIMITACIONES DEL USO DE HERRAMIENTAS GENÓMICAS

### Oportunidades

La selección genómica es una herramienta tecnológica que ha revolucionado el mejoramiento en diferentes especies domésticas, sobre todo en ganado lechero, donde esta tecnología ha sido ampliamente utilizada para incrementar las tasas de mejoramiento genético, ya que permite incrementar las confiabilidades de los valores genéticos, acortar los intervalos generacionales e incrementar la intensidad de selección.

Por el corto tiempo de la disponibilidad de la información genómica, en ganado tropical no se ha documentado su uso, pero cabe la posibilidad de hacer uso de sementales de razas puras que sean portadores de genes de interés en el mejoramiento genético y que estos sean usados en los diferentes programas de cruzamientos. La disponibilidad de la información genómica, permite la posibilidad de usar animales jóvenes de razas puras, seleccionados a partir de sus valores genómicos directos (calculados como la suma de los efectos de los SNP estimados en una población de referencia), que podrían disminuir los intervalos generacionales e incrementar las tasas de mejoramiento en las poblaciones, ventajas que se podrían incorporar en el sistema de cruzamiento rotacional. En la generación de razas sintéticas, la ventaja de seleccionar animales con base en sus valores genómicos sería aún mayor, ya que tanto hembras como sementales serían seleccionados con un mayor grado de confiabilidad a una edad temprana, lo que generaría una mayor tasa de mejoramiento genético en las poblaciones.

El conocimiento preciso de la información de pedigrí es necesario para establecer un programa de mejoramiento genético en cualquier población. A través del uso de información genómica es posible confirmar y hacer el descubrimiento de la paternidad de los animales. Estudios publicados recientemente mencionan que en animales cruzados, son necesarios 500 SNP para realizar la confirmación de la paternidad y para el descubrimiento se necesitan un poco más de marcadores de SNP (680). El uso de esta herramienta en ganado tropical podría permitir el conocimiento preciso de las relaciones aditivas de los animales.

### Limitaciones

En el sistema de producción de ganado tropical, la recolección de información fenotípica es muy limitada, debido al tipo de instalaciones y al manejo que se le da al ganado. Este problema dificulta el establecimiento de un programa de mejoramiento genético en las poblaciones cruzadas, ya que aunque exista la posibilidad de estimar los valores genómicos de los animales a partir de los efectos de los SNP estimados en poblaciones ancestrales de referencia (que son de razas puras), los mismos efectos no se pueden aplicar en otras poblaciones, en otras razas o en productos de cruzamientos de las mismas. Por lo anterior, si un sistema de mejoramiento basado en información genómica se requiere establecer en una población de ganado tropical, será necesario obtener fenotipos, estimar relaciones aditivas entre los animales, diseñar la población de referencia, y posteriormente estimar los efectos de los SNP y calcular los valores genómicos directos.

Una desventaja de aplicar las herramientas genómicas en ganado cruzado, comparado con razas puras, es que tanto para selección genómica, como para pruebas de paternidad es necesario contar con una mayor cantidad de SNP por animal. Por ejemplo, para la confirmación y descubrimiento de la paternidad, en poblaciones cruzadas de ganado bovino se requieren 300 y 20 SNP más que en razas puras respectivamente.

La necesidad de contar con un mayor número de marcadores de SNP en poblaciones cruzadas, hace más costosa la aplicación de esta tecnología en ganado tropical.

## IV.5 LA SELECCIÓN EN EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL

### IV.5.1 INTRODUCCIÓN

El potencial genético actual de las especies domésticas (aves, cerdos, bovinos, ovinos), particularmente el de bovinos lecheros, es el resultado de la aplicación de tecnologías avanzadas que permiten con mayor eficiencia la identificación de animales genéticamente superiores. Sin embargo, el método de selección tradicional depende en gran medida del número de registros fenotípicos para aumentar la exactitud de los valores genéticos. En consecuencia, las características difíciles de medir, como aquellas que se expresan tardíamente, las limitadas al sexo, o aquellas que presentan baja

heredabilidad, son más difíciles de mejorar. A partir de la secuenciación del genoma bovino en el 2009, fue posible un nuevo adelanto en los métodos de selección, principalmente para las características productivas que se acaban de mencionar.

El mejoramiento de las especies domésticas ha avanzado conforme han progresado los métodos de selección. Por ejemplo, en un principio los bovinos lecheros eran seleccionados a partir de desviaciones de su grupo contemporáneo para predecir sus valores genéticos. Posteriormente, gracias a la metodología de modelos mixtos desarrollada por Charles R. Henderson, se logró un enorme avance en el mejoramiento genético de los animales. Henderson modificó las ecuaciones normales del método de cuadrados mínimos, desarrollando así la base para la metodología de modelos mixtos. Aunado a lo anterior, los avances en las ciencias computacionales hicieron posible la implementación de la metodología del modelo semental y, posteriormente, la metodología del modelo animal, que permitió resolver las complejas ecuaciones de los modelos mixtos. La evaluación genética mediante la implementación del modelo animal para la estimación de valores genéticos es ahora ampliamente aceptada, y el modelo se sigue usando en muchos países en sus diversas aplicaciones, como son las evaluaciones genéticas realizadas conjuntamente por varios países a través del Servicio Internacional de Evaluación de Sementales (INTERBULL).

El advenimiento de las técnicas de biología molecular hizo posible el estudio del genoma de diversas especies, permitiendo distinguir individuos por sus diferencias en la secuencia de nucleótidos, llamados marcadores moleculares. Los marcadores moleculares asociados con características productivas permitieron la selección de individuos sin la influencia del ambiente a través de la selección asistida por marcadores. A pesar del progreso logrado por la selección asistida por marcadores, esta metodología todavía es oportuna en los programas de selección, debido a que la mayoría de las características de interés son controladas por un gran número de loci. El uso de un limitado número de loci por dicha metodología puede resultar en la captura parcial de la varianza genética, lo que a su vez normalmente resulta en una pequeña ganancia genética.

El proyecto del genoma bovino permitió la identificación de alrededor de 35 millones de Polimorfismos de un Solo Nucleótido (SNP). Los SNP están densamente esparcidos en el genoma, característica que permitió el desarrollo de nuevas tecnologías basadas en paneles

densos de marcadores. En los últimos años, la selección genómica, nueva tecnología que está revolucionando los programas de mejoramiento, ha permitido la estimación de valores genéticos basándose en el genotipo de cientos de miles de SNP densamente distribuidos a través del genoma. En este caso, los valores genéticos son estimados como la suma de los efectos de todos los marcadores. La selección genómica en comparación con los programas de mejoramiento tradicionales permite hasta un incremento del 50 % o más en la ganancia genética anual. Además, existe una disminución en el costo de las evaluaciones por el hecho de que no se requieren pruebas de progenie.

## IV.5.2 SITUACIÓN MUNDIAL

El Comité Internacional de Registros de Producción Animal (ICAR) fue fundado en 1951 con el objeto de estandarizar los registros de producción animal y su evaluación.

Con el objeto de coadyuvar en la estandarización de las evaluaciones genéticas instituyó un comité llamado Servicio Internacional de Evaluaciones Genéticas (INTERBULL) que en un inicio trabajó solamente con razas lecheras y principalmente con Holstein. Dada la importancia de estandarizar los procesos de evaluación genética, en 1988 el INTERBULL se convirtió en un subcomité permanente de ICAR con personalidad propia.

El INTERBULL está manejado por un Comité Directivo que cuenta con 9 miembros de 9 países diferentes y cuyo objetivo es fijar la estrategia, prioridades planes de trabajo y el presupuesto de INTERBULL y cuenta con un centro operativo de evaluaciones en Suecia.

Desde 2003, el Comité Directivo está apoyado por dos grupos académicos: El Comité de Asesoría Científica y el Comité Técnico INTERBULL. El objetivo del primero es proponer los desarrollos metodológicos necesarios para asegurar la dirección, soporte científico y desarrollo a largo plazo de los servicios de INTERBULL; el segundo tiene como objetivos identificar y revisar aspectos técnicos esenciales para proveer servicios de alta calidad a los miembros participantes en las evaluaciones genéticas internacionales.

A la fecha los siguientes países participan en las evaluaciones genéticas internacionales:

Africa: Sudáfrica; América: Argentina, Canadá Estados Unidos de América y Uruguay; Asia: Corea, Israel, Japón; Europa: Alemania, Austria, Bélgica, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia,

España, Estonia, Finlandia, Francia, Holanda, Hungría, Inglaterra, Irlanda, Italia, Latvia, Lituania, Noruega, Polonia, República Checa, Suecia y Suiza; Oceanía: Australia y Nueva Zelanda.

La logística de las evaluaciones internacionales se fija cada año pero básicamente requiere de los siguientes pasos:

- a) Los países miembros realizan sus propias evaluaciones genéticas dentro de cada país siguiendo los métodos consensados con INTERBULL y reconocidos mundialmente.
- b) Los países miembro envían los resultados de las evaluaciones genéticas al centro INTERBULL.
- c) El personal de INTERBULL verifica que los resultados de las evaluaciones sean consistentes internamente y con evaluaciones anteriores.
- d) El personal de INTERBULL combina las evaluaciones genéticas procedentes de diferentes países utilizando el método MACE (Multiple Across Country Evaluation).
- e) El INTERBULL entrega a los países miembro
  - 1.- Las evaluaciones genéticas de los sementales que envió originalmente modificadas por la información genética calculada en otros países donde los sementales también tienen hijas y
  - 2.- Las evaluaciones de sementales que no tienen progenie en el país miembro pero a los cuales, gracias a las correlaciones genéticas existentes entre países, se les pudo calcular un valor genético basado en información de otros países.

Todo este procedimiento se realiza por raza, pero no todos los países participan con el mismo número de razas, siendo solamente la raza Holstein la presente en todos los países miembro. Las evaluaciones internacionales se realizan tres veces al año en fechas preestablecidas por el propio centro INTERBULL.

Debido al éxito de INTERBULL se inició el INTERBEEF o servicio internacional de evaluación genética de ganado de carne. El INTERBEEF ha estado trabajando con el auspicio de ICAR pero no ha tenido el auge o aceptación de INTERBULL. Hasta el momento no existen evaluaciones genéticas internacionales de ganado cruzado ni de ganado produciendo en condiciones tropicales húmedas.

Recientemente, por el advenimiento de la incorporación de información genómica en las evaluaciones genéticas, el INTERBULL desarrolló

los programas necesarios para realizar esta incorporación en las evaluaciones internacionales, aplicando la metodología GMACE (Genomic Multiple Across Country Evaluation).

En la última evaluación MACE a realizarse por INTERBULL en diciembre de 2015, 31 países participarán para las características de kilogramos de leche, de grasa y de proteína. Se incluyeron las razas Holstein, Suizo Pardo, Guernsey, Jersey, Rojo Lechero (Noruego y Sueco) y Simmental. En lo que se refiere a las características de conformación, 22 países estarán participando con información de Holstein, Suizo Pardo, Guernsey, Jersey y Rojo Lechero. Para las características de salud de ubre 26 países participarán con información de las razas Holstein, Suizo Pardo, Guernsey, Jersey, Rojo Lechero y Simmental. Para la característica de supervivencia sólo 21 países participarán con las mismas razas que las características de conformación. Para características de parto serán 16 países contribuyendo información de las razas Holstein, Suizo Pardo y Rojo Lechero. Para características de fertilidad en hembras 17 países participarán con información de Holstein, Suizo Pardo, Guernsey, Jersey, Rojo Lechero y Simmental. Para velocidad de ordeño y temperamento, sólo seis países contribuirán con información de las razas Holstein, Suizo Pardo, Jersey y Rojo Lechero.

### IV.5.2.1 SELECCIÓN GENÓMICA

La posibilidad de elegir a los mejores animales basados en los potenciales genéticos de producción y reproducción presentes en su constitución genética (ADN), fue expuesta en el 2001 por Meuwissen, quien llamó a este proceso como “Selección genómica”, en la que el potencial de los animales se determina a través de evaluaciones genómicas. Los avances logrados en las técnicas de genética molecular han hecho posible el uso de paneles de alta densidad de marcadores SNP a un costo cada día más accesible; aunado a esto, el desarrollo de metodologías estadísticas y la disponibilidad de herramientas computacionales, han hecho posible el establecimiento de programas de mejoramiento genético usando información genómica.

### Historia de las evaluaciones genómicas

Las primeras evaluaciones genómicas se realizaron en octubre de 2007 en los Países Bajos, con una población de referencia de 1,500 sementales, incrementando la cantidad de animales en el 2008 a 3,600. En Abril de 2008 en Nueva Zelanda, se usaron 4,500 sementales como población

de referencia para calcular valores genómicos, animales que fueron genotipados en el 2007 con el Chip de Illumina BovineSNP50 BeadChip. En Estados Unidos de América y Canadá, las primeras evaluaciones genómicas oficiales fueron publicadas en el 2009 para ganado Holstein, Jersey y Suizo Pardo, aunque un año antes estuvieron disponibles los valores genómicos no oficiales. El éxito de la implementación de las evaluaciones genómicas en Estados Unidos de América y Canadá, radicó en la disponibilidad de material genético para formar la población de referencia, ya que en 1992 se creó el Repositorio de ADN de Cooperativas Lecheras (CDDR) donde algunas de las organizaciones de inseminación artificial de dichos países, como ABS Global, Accelerated Genetics, Alta Genetics, CRI-Genex, Select Sires y Semex, formaron un banco de semen. Con el material genético disponible en el CDDR y con el desarrollo del BovineSNP50 BeadChip de Illumina, fue posible genotipar a 7,195 animales que fueron usados en las primeras evaluaciones genómicas en Estados Unidos de América.

En el 2008, en Europa se puso en marcha el proyecto internacional para la selección genómica (EuroGenomics) con el objetivo de realizar evaluaciones genómicas en países europeos. Los socios de EuroGenomics son compañías que llevan a cabo los programas de mejoramiento de ganado, entre las que se encuentran: CRV (Representando a los Países Bajos y Bélgica), DHV / vit (Alemania), UNCEIA (Francia) y Viking Genetics (Dinamarca, Suecia y Finlandia). En el mismo año, un grupo de trabajo de genómica fue creado por el comité directivo INTERBULL para establecer la metodología para el uso de datos genómicos; en julio de 2009 fueron validadas las evaluaciones genómicas nacionales e internacionales y en agosto del mismo año se publicaron los resultados en la página WEB de INTERBULL. A partir de entonces, se han establecido las evaluaciones genómicas en diferentes poblaciones de ganado en todo el mundo. En México, en julio de 2014 se publicaron los primeros resultados de las evaluaciones genómicas para ganado Holstein, en la que se evaluaron cinco características (producción de leche, grasa y proteína; éstas dos últimas en kilogramos y porcentaje). Actualmente, la población Holstein de referencia en México es de aproximadamente 4,200 animales, de los cuales el 95 % son vacas.

## Procedimiento general de las evaluaciones genómicas

A diferencia de las evaluaciones genéticas tradicionales, donde a partir de los registros fenotípicos y genealógicos se predice el potencial genético del animal, en las evaluaciones genómicas el mismo potencial genético se predice a partir de la combinación de SNP presentes en el animal, de su información fenotípica y genealógica.

Para realizar las evaluaciones genómicas es necesario determinar una población de referencia, en la cual será necesario contar con información genómica, fenotípica [que consta de valores genéticos en la metodología de dos pasos (G-BLUP o Bayes) y de registros productivos en el caso de la metodología de un solo paso (SS-GBLUP)] e información genealógica. Posteriormente, con las tres fuentes de información disponibles, se estiman los efectos de los marcadores SNP a través de análisis de asociación del genoma (GWAS) y se predicen los valores genómicos de cada uno de los animales. El valor genómico se define como el potencial genético de los animales calculado a través de información genómica, fenotípica y de pedigrí.

Una vez estimados los efectos de los SNP para las características de interés en la población de referencia, se debe establecer una población de validación para corroborar que la suma de los efectos de los SNP nos proporciona una estimación válida del potencial genético de los animales. A los animales de la población de validación se les deben estimar los valores genéticos tradicionales (a través de sus registros productivos e información genealógica), y los valores genómicos directos (que son el resultado de la suma de los efectos de los SNP estimados previamente en la población de referencia). La correlación entre los valores genéticos y genómicos directos debe ser alta ( $>0.97$ ) para que el uso de los valores genómicos sean válidos en la población y se pueda realizar una selección genómica temprana, basada en la composición del ADN de los animales de manera confiable.

Debido a la variabilidad genética que existe entre las poblaciones, a los diferentes niveles de desequilibrio de ligamiento (LD) entre los marcadores de SNP y los loci de características cuantitativas (QTL) o genes de interés, y a las diferencias en los estados de las fases de persistencia de LD, es necesario que los efectos de los SNP se estimen en la misma población en la que se van a aplicar las fórmulas para calcular los valores genómicos directos, de lo contrario se podrían estar calculando

valores genómicos erróneos y por consiguiente se estaría realizando una mala selección. Además, la estimación de los efectos de los SNP se debe realizar de manera continua dentro de cada población, debido a que las recombinaciones que se realizan en el ADN en cada generación pueden modificar los efectos de los SNP o se pueden generar mutaciones que alteren los niveles de variación genética explicada en una región del genoma específica.

### Impacto de la genómica en el mejoramiento genético

Las ventajas de incorporar información genómica en los programas de mejoramiento genético de ganado bovino son numerosas y muy prometedoras para los ganaderos y para la industria bovina, sobre todo para la lechera, dentro de las cuales destacan:

- a) Determinación de la relación de parentesco de manera más precisa que con información de pedigrí. Con información genealógica se determina que la relación de parentesco entre padre e hija es del 50 %, es decir, la mitad del material genético (y por ende de su potencial genético de producción o valor genético) de la hija proviene de su padre y por extensión cualquier animal tiene el 25 % del material genético de cada uno de sus abuelos. Por la recombinación genética que se realiza en cada generación, se sabe que la relación exacta entre una nieta y su abuelo no es 25 %, pero no era posible determinarla. Ahora, con la disponibilidad de la información genómica se puede conocer la relación casi exacta entre un animal y sus descendientes, y con ello se pueden mejorar las evaluaciones genéticas de vacas y sementales.
- b) Detección de genes con grandes efectos sobre las características de interés económico, y de esta manera es posible aumentar la velocidad del mejoramiento genético al identificar mejor a los animales superiores.
- c) Incremento de la confiabilidad de los valores genéticos, lo que permite realizar mejor la selección de animales en la población. Por ejemplo, un índice de pedigrí para un toro joven se encuentra en un rango del 30 al 35% de confiabilidad, mientras que con información genómica, se puede alcanzar hasta un 60 o 75%, lo que equivale a tener entre 25 y 30 hijas con información productiva. Son diversos los factores que influyen en los niveles de confiabilidad de los valores genéticos (GEBV), entre los que destacan: 1) el tamaño de la población de referencia en la cual se estimarán

los efectos de los SNP, 2) la densidad de los paneles a usar (número de SNP a utilizar), y 3) la heredabilidad de la característica de interés.

- d) Disminución del intervalo generacional. La posibilidad de estimar los valores genómicos de los animales a partir de la información genómica (valores genómicos directos), con una confiabilidad superior a la alcanzada con el índice de pedigrí, hace posible realizar una selección genómica, que tiene la posibilidad de realizarse a una edad temprana de los animales. El realizar la selección genómica de animales jóvenes, hace posible la reducción del intervalo generacional varios años, dependiendo de la vía de selección de los animales. En el Cuadro 1 se muestra el intervalo generacional que se puede alcanzar a través de la aplicación de la selección genómica.

Cuadro 1. Intervalo generacional que se puede alcanzar a través de programas de selección genómica	
Vía de selección	Intervalo generacional (años)
Padres de toros	1.75
Padres de vacas	1.75
Madres de toros	2.00
Madres de vacas	4.25
Total	9.75

- e) Incremento de las tasas de mejoramiento genético. El incremento de la confiabilidad, la disminución de los intervalos generacionales, la posibilidad de poder explicar mejor la variabilidad genética y un incremento en la intensidad de selección, hacen posible aumentar las tasas de mejoramiento genético en los programas de selección genómica hasta dos veces más, comparado con los programas de selección tradicional.

## Resultados de la implementación de las evaluaciones genómicas

La población de ganado lechero en Estados Unidos de América, sobre todo la raza Holstein, fue la que adoptó más rápido y a gran escala la incorporación de las evaluaciones genómicas. Actualmente se ha estudiado el impacto de la incorporación de la información genómica en el programa de mejoramiento genético de la población Holstein de Estados Unidos de América para las características de leche, grasa y proteína, puntuación de células somáticas (SCS), vida productiva (PL) y tasa de preñez de las hijas (DPR). Se estimaron los diferenciales de selección (SD) y los intervalos de generación. En el período posterior a la implementación de la selección genómica, se observaron reducciones dramáticas en el intervalo generacional, especialmente para los sementales. El intervalo generacional de los padres de sementales se redujo de 7 a menos de 2.5 años, y el de los padres de vacas se redujo de 4 a casi 2.5 años. Se observó una mayor respuesta a la selección genómica para características con bajas heredabilidades (DPR, PL y SCS). En la población se observaron tasas de ganancia genética de 132 a 285 % al comparar el periodo previo a la implementación de la selección genómica (2006-2010) y el periodo donde nacieron las primeras hijas de los animales seleccionados a través de valores genómicos (2011-2015).

Hasta ahora sólo ha sido posible ver los cambios que se han obtenido en esta población, sobre todo debido a la cantidad de animales que han genotipado, pero se espera que los beneficios de la selección genómica en Estados Unidos de América impacten de manera positiva en el mejoramiento genético de todas las poblaciones de ganado lechero en todo el mundo, sobre todo porque esta población es una fuente importante en la comercialización y distribución de material genético.

### IV.5.3 SITUACIÓN NACIONAL

#### IV.5.3.1 ANTECEDENTES

En el año 1997, la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, a través de su Dirección General de Ganadería, en coordinación con la Confederación Nacional Ganadera (CNG), por conducto de sus Asociaciones de Criadores de Ganado de Registro y las Instituciones de Educación Superior, Investigación y Servicio, definieron la realización de cuatro Foros Nacionales de Análisis de los Recursos Genéticos Pecuarios de las distintas especies pecuarias, con el

propósito de diagnosticar, caracterizar y establecer compromisos y acciones de las partes involucradas en la conservación de los recursos genéticos del país.

Durante estos cuatro foros se contó con la participación de más de 750 personas, incluyendo representantes de las Asociaciones de Criadores de Ganado de Registro, especialistas en mejoramiento genético y reproducción animal, técnicos, académicos de Investigación y Educación Superior, estudiantes, productores de las diferentes regiones del país y representantes de instancias nacionales e internacionales involucradas con el sector pecuario.

Con las experiencias compartidas y con el consenso de quienes intervinieron, en estos foros se propusieron diversas acciones entre las que destacan la elaboración de un Programa Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios, como una estrategia para enfrentar los retos de una economía globalizada, en donde la productividad y la calidad son factores determinantes para competir con mayores ventajas en los mercados; y la integración de un Consejo Nacional de los Recursos Genético Pecuarios para coordinar, facilitar y alcanzar los objetivos del Programa.

En 1999 se constituyó El Consejo Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios (CONARGEN) como una Asociación Civil sin fines de lucro. En el año 2009, de manera coordinada la Coordinación General de Ganadería (CGG) de la SAGARPA y la Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas (CNOG) decidieron reestructurar al CONARGEN, adecuando sus estatutos y activando sus Comités Técnicos por especie-producto, con la finalidad de poder cumplir adecuadamente con su objeto, que es “coordinar las acciones de las Asociaciones de Criadores de Ganado de Registro, instancias del Gobierno Federal e Instituciones de Investigación y Docencia, para lograr los objetivos planteados en el Programa Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios (PNRGP)”.

Para el cumplimiento de su objeto, el CONARGEN cuenta con distintos órganos internos, entre los que destacan los Comités Técnicos, que son órganos colegiados responsables de la valoración y de la opinión técnica que respalde las decisiones del CONARGEN en todos sus programas de apoyo y certificación para el desarrollo de los recursos genéticos pecuarios.

Entre las finalidades y responsabilidades del CONARGEN se destacan particularmente las siguientes: 1) fomentar el uso de registros genealógicos y de producción, dando seguimiento a su incremento en número y calidad; 2) promover la producción, procesamiento y comercialización de pies de cría y material genético con mediciones heredables, garantizando una mayor calidad genética, siendo éste un importante eslabón en las especies producto y cadenas productivas de todas las especies pecuarias representadas en esta asociación; 3) desarrollar los planes de acción específicos para las actividades establecidas en el PNRGP, o en su caso, ordenar y supervisar los ya existentes, como por ejemplo, creación y mantenimiento de bases de datos, estrategias de caracterización, conservación y utilización sostenible de los recursos genéticos pecuarios, y la capacitación de recursos humano; y 4) coordinar la elaboración de documentos por especie-producto o razas, donde se indiquen los procedimientos para uniformar el sistema de control productivo, reproductivo y genealógico de los animales, con el fin de elaborar las bases de datos respectivas.

Como un primer paso en el intento de establecer programas de mejoramiento genético en México, se han implementado evaluaciones genéticas nacionales en diferentes especies y razas de animales. Las evaluaciones genéticas de bovinos de leche y carne, así como de caprinos y otras especies, son apoyadas por el CONARGEN. Del 2008 al 2012 este consejo ha apoyado a un total de 33 asociaciones que registran 50 distintas razas de cinco diferentes especies pecuarias.

### IV.5.3.2 EVALUACIONES GENÉTICAS NACIONALES

Las evaluaciones genéticas nacionales tienen como propósito generar las mejores predicciones de los valores genéticos para características de importancia económica en la producción comercial de carne y leche de todos los animales disponibles en los hatos de cría de una raza determinada. Por lo tanto, es importante que las asociaciones mexicanas de criadores realicen evaluaciones genéticas nacionales, para proporcionar información a la industria que permita: 1) mejorar las decisiones de selección en las explotaciones comerciales y para pie de cría, y 2) facilitar el uso de esquemas de cruzamiento en las explotaciones comerciales.

## Bovinos productores de leche

En ganado bovino lechero las evaluaciones genéticas incluyen a 16 mil vacas de diferentes razas, como son: Holstein, Jersey y Suizo Americano.

### Holstein

La primera evaluación genética del ganado Holstein mexicano, en la cual sólo se incluyeron características de conformación, se realizó en 1974 (Figura 1) con el apoyo de la Universidad de Guelph y de Holstein Canadá. Aunque el establecimiento del control de producción en México se realizó desde 1970, fue hasta 1976 cuando se llevó a cabo la primera evaluación genética para producción de leche (Figura ), con el apoyo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. A partir de entonces, las evaluaciones para producción se realizaron de manera periódica en la población Holstein de México. En 1977 se suspendieron las evaluaciones de conformación y éstas se volvieron a realizar hasta 1999. En la evaluación de 1999, se usó información generada de 1976 a 1985, y se realizó una evaluación para características de conformación, empleando la metodología BLUP, usando un modelo semental, en donde se incluyeron los efectos de: hato-año-época, ronda, clasificador, región y semental como efecto aleatorio.

En 1999 se realizó por primera vez, completamente en México, la evaluación genética de toros y vacas para producción de leche y conformación, a partir de una base de datos con 25,629 animales nacidos a partir de 1990. A partir de este año la evaluación de conformación también fue expresada de manera estandarizada, considerando la distribución de las Habilidades de Transmisión en la población. En el 2000 se adicionó la producción en kilogramos de grasa y proteína, para mejorar la composición genética de la leche. Posteriormente, en el 2002, se integraron las características de porcentaje de grasa y de proteína a la evaluación. A partir del 2005 las evaluaciones comenzaron a realizarse semestralmente, y no anualmente, como se venía haciendo desde 1974. En el 2010 se incorporó la característica longevidad, que se expresa de manera estandarizada, y en el 2012 se incluyeron conteo celular somático y los índices de vacas y sementales: índice económico de sementales (INES) e índice de vacas completo (INVAC), con la finalidad de realizar una selección conjunta de caracteres que favorezca a la productividad de los animales de la raza Holstein.

## Información utilizada

En las evaluaciones más recientes (febrero de 2015) se incluyeron los registros productivos, de calidad de la leche y de conformación de la siguiente cantidad de animales, por característica evaluada:

Característica evaluada	Número de vacas con información
Leche	417,137
Grasa y proteína (kg)	159,714
Grasa y proteína (%)	159,714
Longevidad	13,122
Conteo de células somáticas	127,973
Caracteres de conformación	45,293



Figura 1. Portada del primer sumario de sementales productores de leche publicado en México para conformación



Figura 2. Portada del primer sumario de sementales productores de leche publicado en México para producción de leche y conformación

## Modelos

Los modelos utilizados para la evaluación de cada característica se mencionan a continuación:

- a) Producción y componentes de la leche. Los registros por cada lactación se describen a través de un modelo estadístico y se pre-ajustan por la edad, mes de parto y días en producción al último pesaje. Los valores genéticos para producción de leche y componentes se estiman mediante un modelo animal, como la suma de los efectos fijos (hato-año-estación) y aleatorios (ambiente permanente, interacción semental x hato, animal y residual).
- b) Conteo de células somáticas (CCS). Los registros por cada lactación se describen a través de un modelo estadístico similar al de producción, pero la información utilizada es el promedio de las primeras nueve calificaciones lineales de CCS, considerando como 0.10 la calificación mínima de una muestra de leche.
- c) Conformación. Para predecir el valor genético de un animal para las características de conformación se utiliza la primera calificación de la vaca para 17 caracteres lineales y puntos finales. Los valores genéticos se estiman a través de un modelo animal, incluyendo efectos fijos (edad al parto, tercio de lactación al momento de la calificación, hato-ronda calificador) y aleatorios (animal y residual).
- d) Longevidad. Se utiliza un modelo semental-abuelo materno, a través de un análisis de supervivencia. El modelo incluye efectos fijos (riesgo base, hato-año, edad al primer parto, nivel de producción de leche, fase de la lactación y cinco caracteres de conformación que se encuentran relacionados con longevidad (anchura del anca, aplomos, vista lateral de patas posteriores, carácter lechero, profundidad del cuerpo y textura de ubre)) y aleatorios (hato-año de primer parto, semental y residual).

- e) Índice económico de sementales e índice de vacas completo. Estos índices se calculan con la finalidad de evaluar conjuntamente las características más importantes en la población. Las características incluidas en el índice de vacas completo son: leche, porcentaje de grasa y puntos finales; esta última como una evaluación general de la conformación de la vaca. En el caso de los sementales se agrega longevidad.

El índice de vacas completo se calcula con la siguiente ecuación:

$$INVAC = 4 * \left[ 25 + \left\{ \left\langle 6 * \left( \frac{HTP\%LECHE}{469.68} \right) \right\rangle + \left\langle 3 * \left( \frac{HTP\%GRASA}{0.1063} \right) \right\rangle + (HTEPUNTOS) \right\} \right]$$

El índice económico de sementales se calcula con la siguiente ecuación:

$$INES = 4 * \left[ 25 + \left\{ \left\langle 5 * \left( \frac{HTP\%LECHE}{563} \right) \right\rangle + \left\langle 3 * \left( \frac{HTP\%GRASA}{0.1051} \right) \right\rangle + (HTEPUNTOS) + (HTPLONGE) \right\} \right]$$

### Donde:

HTPLECHE: Habilidad de Transmisión predicha para leche.

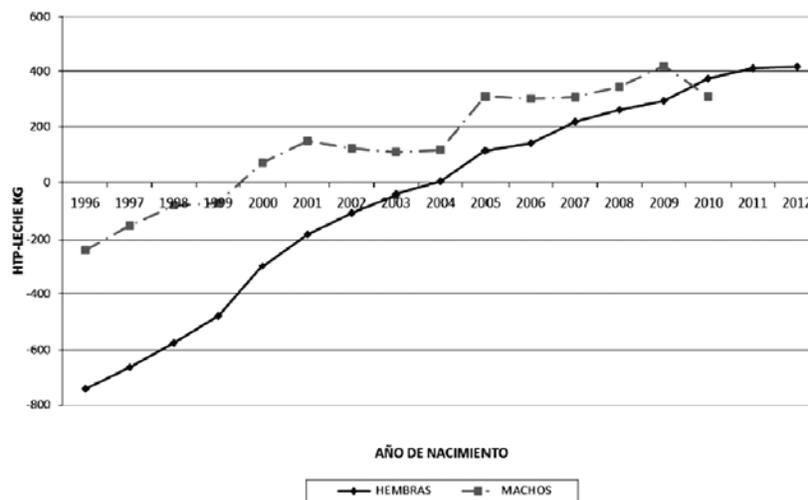
HTP%GRASA: Habilidad de Transmisión predicha para porcentaje de grasa.

HTEPUNTOS: Habilidad de Transmisión estandarizada para puntos finales.

HTPLONGE: Habilidad de Transmisión estandarizada para longevidad.

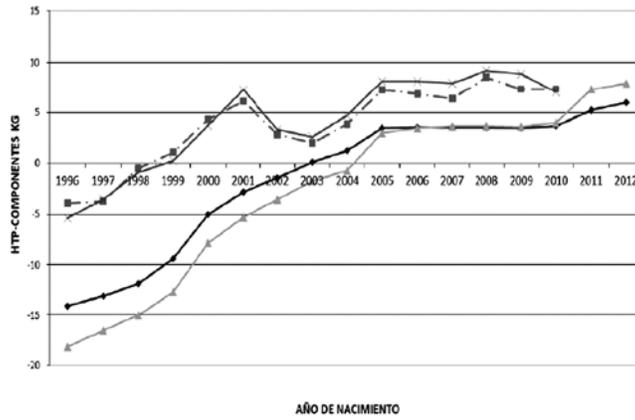
### Tendencias genéticas

El potencial genético de ganado Holstein en México ha aumentado a través de los años para las características de producción de leche, grasa y proteína en kilogramos, tanto para hembras como para machos, pero debido al volumen de leche que se ha logrado aumentar genéticamente, el porcentaje de grasa y proteína se ha visto afectado y los valores genéticos han disminuido notablemente para estas características. Al igual que para leche, los valores genéticos para puntos finales de conformación y para conteo celular somático se han incrementado. A continuación se muestran las tendencias genéticas para los diferentes caracteres evaluados en la población Holstein de México.

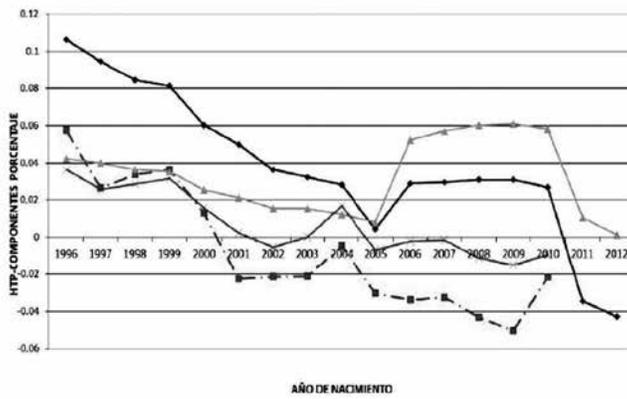


Tendencias genéticas de producción de leche (kg) de ganado Holstein mexicano

TENDENCIAS GENÉTICA POR SEXO



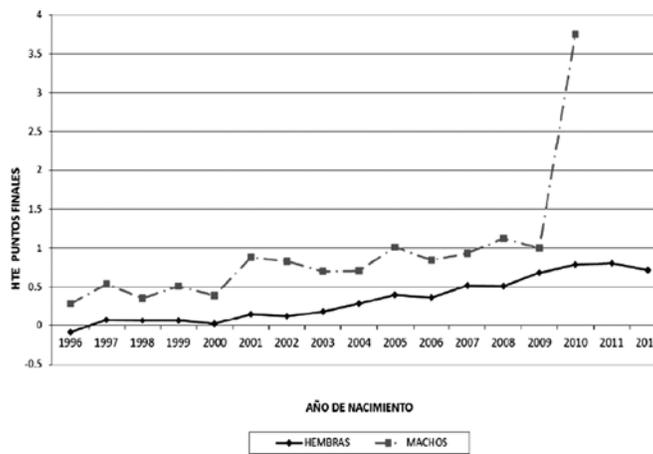
TENDENCIAS GENÉTICA POR SEXO



● GRASA% HEMBRAS   ■ GRASA% MACHOS   ▲ PROTEÍNA% HEMBRAS   ◆ PROTEÍNA% MACHOS

Tendencias genéticas de componentes de la leche (kg) de ganado Holstein mexicano

TENDENCIAS GENÉTICA POR SEXO



Tendencias genéticas de puntos finales de ganado Holstein mexicano.



Tendencias genéticas de conteo celular somático de ganado Holstein mexicano.

## Evaluaciones Genómicas

En el 2011, la Asociación Holstein de México, junto con otras instituciones gubernamentales (CONARGEN, SAGARPA) y de investigación científica (INIFAP, UNAM), inició un proyecto para el desarrollo y validación de las evaluaciones genómicas nacionales de la raza, y en julio de 2014, se publicó la primera evaluación genómica de ganado Holstein en México, la cual incluyó producción de leche, componentes de la misma (en kilogramos y porcentaje) y conteo celular somático. En la evaluación se incluyeron genotipos de 2011 animales con diferentes densidades de marcadores, los cuales fueron imputados en una base común de 45,195 marcadores de un solo polimorfismo.

## Suizo Americano

La Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Suizo de Registro y la Universidad Autónoma Chapingo presentaron los resultados de la evaluación genética del ganado Suizo Americano en el 2013, con la finalidad de implementar programas de mejoramiento genético efectivos para la raza.

## Información utilizada, animales y características

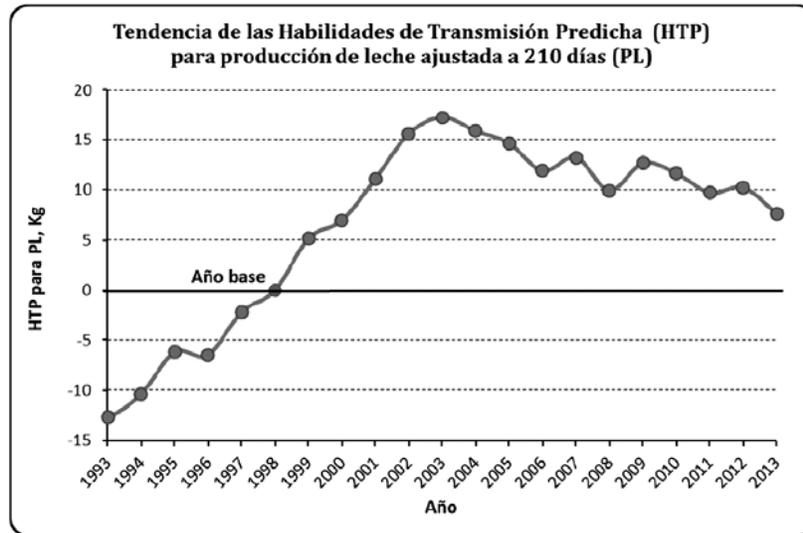
La evaluación más reciente, hace referencia al documento publicado en el 2013. En esta evaluación genética se usaron 8,242 registros de producción de leche ajustada a 210 días provenientes de 87 ranchos. En el estudio fueron considerados un total de 6,439 sementales, de los cuales 580 tuvieron hijas con información de producción de leche. En el pedigrí se incluyeron 162,903 animales, y se obtuvieron los valores genéticos para 141,950 animales. El análisis de la producción de leche ajustada a 210 días consideró ajustes por grupo contemporáneo (animales nacidos en el mismo hato, año y estación de nacimiento, régimen alimenticio y número de ordeños), edad de la vaca y grado de pureza. Sólo se consideraron lactancias de hasta 210 días.

## Modelo

El análisis estadístico se realizó utilizando el programa de máxima verosimilitud restringida, sin el uso de derivadas y multivariado (MTDFREML), desarrollado en la Universidad de Nebraska-Lincoln, E.U.A.

## Tendencias genéticas

El potencial genético del ganado Suizo Americano se incrementó notablemente para los animales nacidos de 1993 a 2003 (30 kg de leche en este periodo), pero en los años siguientes (de 2004 a 2013) el potencial genético de los animales se disminuyó ligeramente (9 kg). En la siguiente figura se presenta la tendencia genética para producción de leche ajustada a 210 días. Los puntos en la figura representan los promedios de las HTP para cada año.



A finales del 2002, la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Jersey de Registro, A. C., fue apoyada con recursos federales por parte de la SAGARPA, para la implementación del primer proyecto “Evaluaciones Genéticas del Ganado Jersey de Registro en México”, que estuvo a cargo de la Universidad Autónoma Chapingo. Este proyecto tuvo como finalidad ayudar a la mejor elección de animales de reemplazo y de esta manera lograr un diseño efectivo de programas de mejoramiento genético animal, tanto para criadores Jersey, como para los productores comerciales. Las primeras evaluaciones genéticas publicadas se realizaron en el 2009, contando con 18,951 animales evaluados y considerando la evaluación de características de tipo, producción y porcentaje de grasa y proteína. La evaluación del 2010 sólo fue para producción de leche.

## Información utilizada

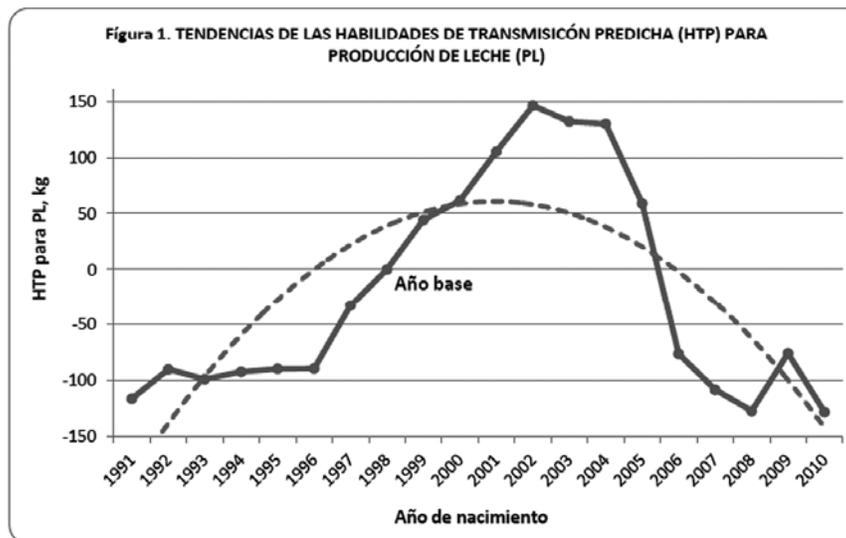
En las evaluaciones del 2010 se consideraron 9,498 registros de producción de leche ajustada a 305 días de 19 hatos. Un total de 1,337 sementales fueron considerados; el número de animales en el archivo de pedigrí fue de 21,173 para leche.

## Modelos

Los registros de producción de leche fueron provistos por la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Jersey de Registro, A. C., los cuales se ajustaron a 305 días por el método de pruebas a intervalos (MPI). El modelo para la producción de leche consideró el efecto de grupo contemporáneo (animales nacidos en el mismo hato, año y estación), el efecto genético del animal, el efecto del ambiente permanente del animal y la covariable lineal y cuadrática de edad de la vaca al parto. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa de máxima verosimilitud restringida, sin el uso de derivadas y multivariado (MTDFREML) desarrollado en la Universidad de Nebraska-Lincoln, EUA.

## Tendencias genéticas

En la siguiente figura se presenta la tendencia genética para producción de leche de ganado Jersey en México, en la cual se observa que los animales nacidos de 1991 al 2002, tuvieron un incremento en su potencial genético, pero la tendencia no se mantuvo para los animales que nacieron en años posteriores (del 2003 al 2010), ya que sus valores genéticos disminuyeron notablemente.

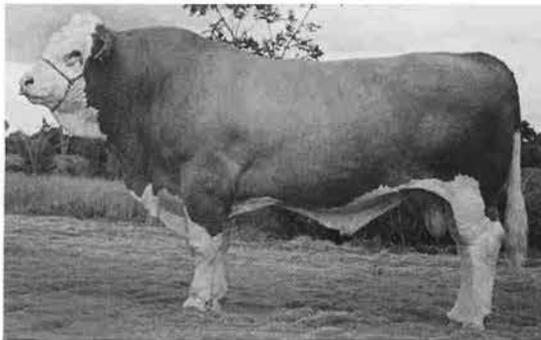
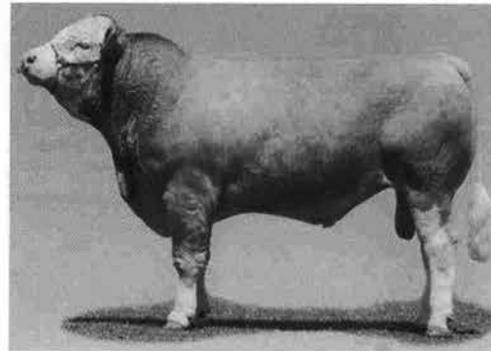
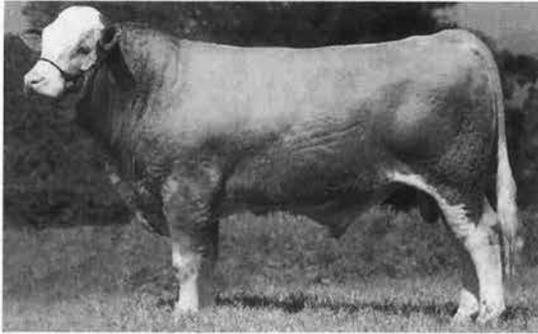


Todos los datos y sus procesos son avalados por convenios celebrados con Universidades e Instituciones como: CONARGEN, Universidad Autónoma Chapingo, DHI Provo, BCIL, Holstein de México, entre otros.

## Bovinos productores de carne

En México, existen alrededor de 35 razas productoras de carne, pero sólo en 25 de ellas se han realizado evaluaciones genéticas a nivel nacional. La Asociación Mexicana Simmental Simbrah fue la primera asociación de criadores de registro en realizar una evaluación genética nacional, lo cual logró en el 2001 para la raza Simmental. El sumario de sementales Simmental (Figura 3), producto de esta primera evaluación, incluyó Diferencias Esperadas en la Progenie para peso al nacimiento, peso al destete directo, peso al destete materno, efecto materno total y peso al año. Posteriormente, en el 2002, la Asociación Angus Mexicana, la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tropicarne, la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Beefmaster y la Charolais Charbray Herd Book de México publicaron su primer sumario de sementales, indicando esto el inicio de las evaluaciones genéticas de sus respectivas razas. En el 2005, la Asociación Mexicana Simmental Simbrah realizó su primera evaluación genética multirracial.

# SUMARIO DE SEMENTALES



Evaluación Génética con  
Diferencias Esperadas de la  
Progenie de Toros Simmental

**inifap**  
PRODUCE



SECRETARÍA DE  
AGRICULTURA, GANADERÍA,  
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN



En el Cuadro 3 se presentan las características económicamente importantes para las que se estiman Diferencias Esperadas en la Progenie en México. Actualmente, todas las razas evaluadas disponen de Diferencias Esperadas en la Progenie para pesos al nacimiento, destete y año de edad, quizá porque estas características son las que se han medido tradicionalmente en los hatos de los criadores de registro, debido a la importancia económica y bajo costo de medición de estas características. Además de ser la pionera en evaluaciones genéticas, la Asociación Mexicana Simmental Simbrah es la asociación de criadores de registro que más características evalúa actualmente; las ocho características que evalúa son: peso al nacimiento, peso al destete directo, peso al destete materno o leche, peso al año, talla corporal, circunferencia escrotal, permanencia productiva y fertilidad de vaquillas; estas dos últimas características se evaluaron por primera vez en los años 2007 y 2015, respectivamente. La permanencia productiva de la hembra está recibiendo la atención de la comunidad científica y de los criadores de cerdos, borregos, bovinos productores de carne y bovinos productores de leche. Esto se debe a su importancia económica debida a la relación directa que guarda con la rentabilidad del sistema de producción.

Al aumentar la permanencia productiva de las vacas disminuye el costo anual para la producción de vaquillas de reemplazo, aumenta la producción del hato (las vacas maduras tienen menos problemas al parto, destetan becerros más pesados y tienen menores requerimientos de energía que las vaquillas) y disminuye el desecho involuntario debido a muerte, infertilidad o lesiones. Varias asociaciones de criadores de registro en el mundo están reportando diferencias esperadas en la progenie para permanencia productiva en sus catálogos o sumarios de sementales, como un producto de las evaluaciones genéticas de bovinos productores de carne. Sin embargo, las únicas asociaciones mexicanas de criadores de registro que publican Diferencias Esperadas en la Progenie para permanencia productiva son la Asociación Mexicana Simmental Simbrah y la Charolais Charbray Herd Book de México.

Existen diversas definiciones de permanencia productiva en la literatura, pero todas ellas intentan reflejar el potencial de una vaca para pagar sus costos de desarrollo y mantenimiento, a través del número de becerros que ella produce y posiblemente desteta durante toda su vida productiva. La definición de permanencia productiva más común es la propuesta por Hudson y Van Vleck en 1981, y es la probabilidad de que una vaca alcance una edad específica dado que se le dio la oportunidad de alcanzar esa edad. En sus evaluaciones genéticas, la Asociación Mexicana Simmental Simbrah y la Charolais Charbray Herd Book de México definen la permanencia productiva como la probabilidad de que una vaca tenga dos crías o más antes de los 6 años de edad, dado que tuvo una cría antes de los 3 años de edad. Los resultados de dichas evaluaciones muestran que la heredabilidad de esta característica es cercana al 15 %. Por su parte, la Asociación Mexicana Simmental Simbrah define la fertilidad de vaquillas como la probabilidad de que una hembra para antes de los 3 años de edad.

La Charolais Charbray Herd Book de México es otra asociación que también ha logrado integrar en sus evaluaciones un número significativo de características (siete), prácticamente las mismas que la Asociación Mexicana Simmental Simbrah, excepto fertilidad de vaquillas. Actualmente, estas dos asociaciones están colectando información de área del ojo de costilla, espesor de grasa dorsal y grasa intramuscular con el fin de realizar la evaluación genética de dichas características en un futuro muy cercano. Por su parte, la Asociación Brangus Rojo de México ha evaluado las mismas características que la Charolais Charbray Herd Book de México, excepto permanencia productiva.

La Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Beefmaster evalúa actualmente seis características: peso al nacimiento, peso al destete directo, peso al destete materno, peso al año, ganancia posdestete y circunferencia escrotal. Las razas Angus, Braford, Droughtmaster, Limousin y Suizo Europeo cuentan con Diferencias Esperadas en la Progenie para las mismas características que la raza Beefmaster, excepto ganancia posdestete. La evaluación genética de las razas Cebú, Brahman, Guzerat, Gyr, Indubrasil, Nelore y Sardo Negro, se realiza para peso al nacimiento, peso al destete directo, peso al destete materno, peso al año y peso a los 550 días de edad. Las asociaciones de criadores de ganado Brangus, Gelbvieh, Salers y Santa Gertrudis estiman Diferencias Esperadas en la Progenie para las mismas características que la Asociación Mexicana de Criadores de Cebú, excepto peso a los 550 días de edad.

El Cuadro 4 muestra el número de registros analizados en la última evaluación, por raza y característica. Beefmaster es la raza que cuenta con el mayor cúmulo de información, utilizándose 84,570 registros en la evaluación de peso al nacimiento, peso al destete y peso al año, y 35,282 registros en la de circunferencia escrotal. Después de la Beefmaster, las razas Charbray, Charolais, Simbrah y Simmental son las de mayor importancia debido al número de registros analizados. De las razas Cebú, la Brahman es la que posee el mayor número de registros útiles, seguida de la Nelore, mientras que la raza Sardo Negro ocupa la última posición (sexto lugar). En la evaluación de la fertilidad de vaquillas, la Asociación Mexicana Simmental Simbrah analiza 22,559 registros de hembras Simbrah y 19,211 registros de hembras Simmental. Al parecer, las poblaciones bovinas más pequeñas en México son las de las razas Droughtmaster, Chianina, Gelbvieh, Guzerat, Hereford, Braford, Romagnola y Santa Gertrudis, ya que tienen los menores números de registros. Sin embargo, en algunas razas, la poca cantidad de información puede estar parcialmente relacionada con la baja calidad de los registros, orillando a los responsables técnicos de las evaluaciones genéticas a eliminar cantidades significativas de información en el momento de la edición de las bases de datos. Otros factores que pueden estar influyendo es la reciente introducción de las razas al país o debido a que son pocos los ganaderos que las han introducido y explotado, lo que las hace menos populares. La calidad de la información es un factor fundamental que influye directamente sobre la exactitud de las Diferencias Esperadas en la Progenie. Por otro lado, la calidad de la información, particularmente la genealógica, también afecta la estimación de consanguinidad, tamaño efectivo de población, número efectivo de fundadores, número efectivo de ancestros y número efectivo de genomas fundadores, parámetros útiles para estudiar la variabilidad genética de las poblaciones, la cual nos indica si éstas están genéticamente erosionadas o en peligro de extinción. Por lo tanto, parte de los recursos que invierten las asociaciones de criadores de ganado de registro debe ser utilizada en la generación de un libro de hato veraz y confiable. Las evaluaciones genéticas están a cargo de tres instituciones universitarias (Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma de Chihuahua, Universidad Autónoma de Nuevo León) y un instituto de investigación (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP).

Cuadro 3. Características para las que se realizan evaluaciones genéticas en las diferentes razas de carne en México										
Asociación de criadores de registro	PN	PD	PM	PA	P550	GPP	CE	Talla	PP	Fertilidad
Asociación Angus Mexicana, A.C.	X	X	X	X			X			
Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Beefmaster	X	X	X	X		X	X			
Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Brangus										
Brangus Negro	X	X	X	X						
Brangus Rojo	X	X	X	X						
Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Braford, A.C.	X	X	X	X			X			
Asociación Brangus Rojo de México, A.C.	X	X	X	X			X	X		
Asociación Mexicana de Criadores de Cebú										
Brahman	X	X	X	X	X					
Guzerat	X	X	X	X	X					
Gyr	X	X	X	X	X					
Indubrasil	X	X	X	X	X					
Nelore	X	X	X	X	X					
Sardo Negro	X	X	X	X	X					
Charolais-Charbray Herd Book de México										
Charbray	X	X	X	X			X	X	X	
Charolais	X	X	X	X			X	X	X	
Asociación de Criadores de Ganado Gelbvieh de la República Mexicana, A.C.	X	X	X	X						
Asociación Mexicana de Criadores de Razas Italianas, A.C.										
Chianina	X	X	X	X		X				
Romagnola	X	X	X	X		X				
Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Droughtmaster, A.C.	X	X	X	X			X			
Asociación Hereford Mexicana	X	X	X	X						
Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Limousin	X	X	X	X			X			
Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Salers, A.C.	X	X	X	X						

Asociación de criadores de registro	PN	PD	PM	PA	P550	GPP	CE	Talla	PP	Fertilidad
Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Santa Gertrudis, A.C.	X	X	X	X						
Asociación Mexicana de Criadores Simmental-Simbrah, A.C.										
Simbrah	X	X	X	X			X	X	X	X
Simmental	X	X	X	X			X	X	X	X
Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Suizo de Registro, A.C.										
Suizo Europeo	X	X	X	X			X			
Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tropicarne	X	X	X	X	X					
aPN= peso al nacimiento; PD= peso al destete directo; PM= peso al destete materno; PA= peso al año; P550= peso a los 550 días de edad; GPP= ganancia posdestete; CE= circunferencia escrotal; Talla= talla corporal; PP= permanencia productiva; Fertilidad= fertilidad de vaquillas.										

Cuadro 4. Número de registros analizados en la última evaluación genética								
Característica <sup>a</sup>								
Raza	PN	PD	PA	P550	CE	TALLA	PP	Fertilidad
Angus	26,439	19,503	10,352		3,767			
Beefmaster	84,570	84,570	84,570		35,282			
Braford	2,877	2,416	1,372		185			
Brangus Negro	35,393	24,924	5,130					
Brangus Rojo <sup>b</sup>	3,096	2,514						
Brangus Rojo <sup>c</sup>	6,844	5,632	3,451		795	1,221		
Brahman	42,915	26,865	24,974	16,662				
Indubrasil	7,775	5,821	5,877	3,957				
Gyr	6,558	5,047	5,025	3,186				
Nelore	13,586	16,564	16,501	11,458				
S a r d o Negro	5,988	5,163	5,054	3,361				
Guzerat	2,109	1,720	1,600	1,313				
Charbray								
Charolais								
Chianina	1,654	716	35					
Romagnola	2,902	1,519	1,054					
Drought master	1,220	1,041	839	234				
Gelbvieh	1,981	1,592	1,529					
Hereford	2,244	1,555	1,203					
Limousin	17,337	11,919	8,523		1,593			
Salers	6,677	6,030	2,332					
S a n t a Gertrudis	3,013	2,826	1,029					
Simbrah	78,881	66,644	42,067		3,991	22,412	7,061	22,559
Simmental	77,007	62,115	33,845		5,320	24,666	11,745	19,211
S u i z o Europeo	24,634	16,709	14,047		3,060			
<sup>a</sup> PN= peso al nacimiento; PD= peso al destete; PA= peso al año; P550= peso a los 550 días; CE= circunferencia escrotal; TALLA= talla corporal; PP= permanencia productiva; Fertilidad= Fertilidad en vaquillas.								
<sup>a</sup> Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Brangus; <sup>c</sup> Asociación Brangus Rojo de México, A.C.								

## Tendencia Genética

Un producto importante de las evaluaciones nacionales de las razas es la tendencia genética. En teoría, las Diferencias Esperadas en la Progenie deben cambiar a través del tiempo a medida que los criadores ejercen selección sobre diferentes características para mejorarlas. Este tipo de selección resulta en tendencias genéticas que se crean año con año. Por lo tanto, la tendencia genética es un indicador de la dirección en la que se mueven las características y la rapidez con que lo hacen. La tendencia genética se genera usando las Diferencias Esperadas en la Progenie promedio de los animales nacidos en cada año. Es importante mencionar que cada DEP se ajusta a una base genética, previo al cálculo de la tendencia genética.

Las Figuras 1 al 7 presentan la tendencia genética de diversas características de las razas Angus, Brangus Negro, Charolais, Limousin, Simbrah, Simmental y Suizo Europeo. En general, las tendencias genéticas de peso al nacimiento, peso al destete directo y peso al año de las siete razas indican un ligero aumento de estas características en los últimos 10 años de evaluación. El peso al nacimiento aumentó 40 g en la raza Charolais y 70 g en la Simmental; en contraste, el peso al nacimiento aumentó 180 g en la Suizo Europeo y 330 g en la raza Limousin. El peso al destete directo incrementó 1.2, 1.4, 1.8 y 4.7 kg en las razas Simbrah, Simmental, Suizo Europeo y Limousin, respectivamente. Los mayores incrementos en el peso al año se han presentado en las razas Charolais (1.7 kg), Suizo Europeo (1.8 kg) y Limousin (2.3 kg).

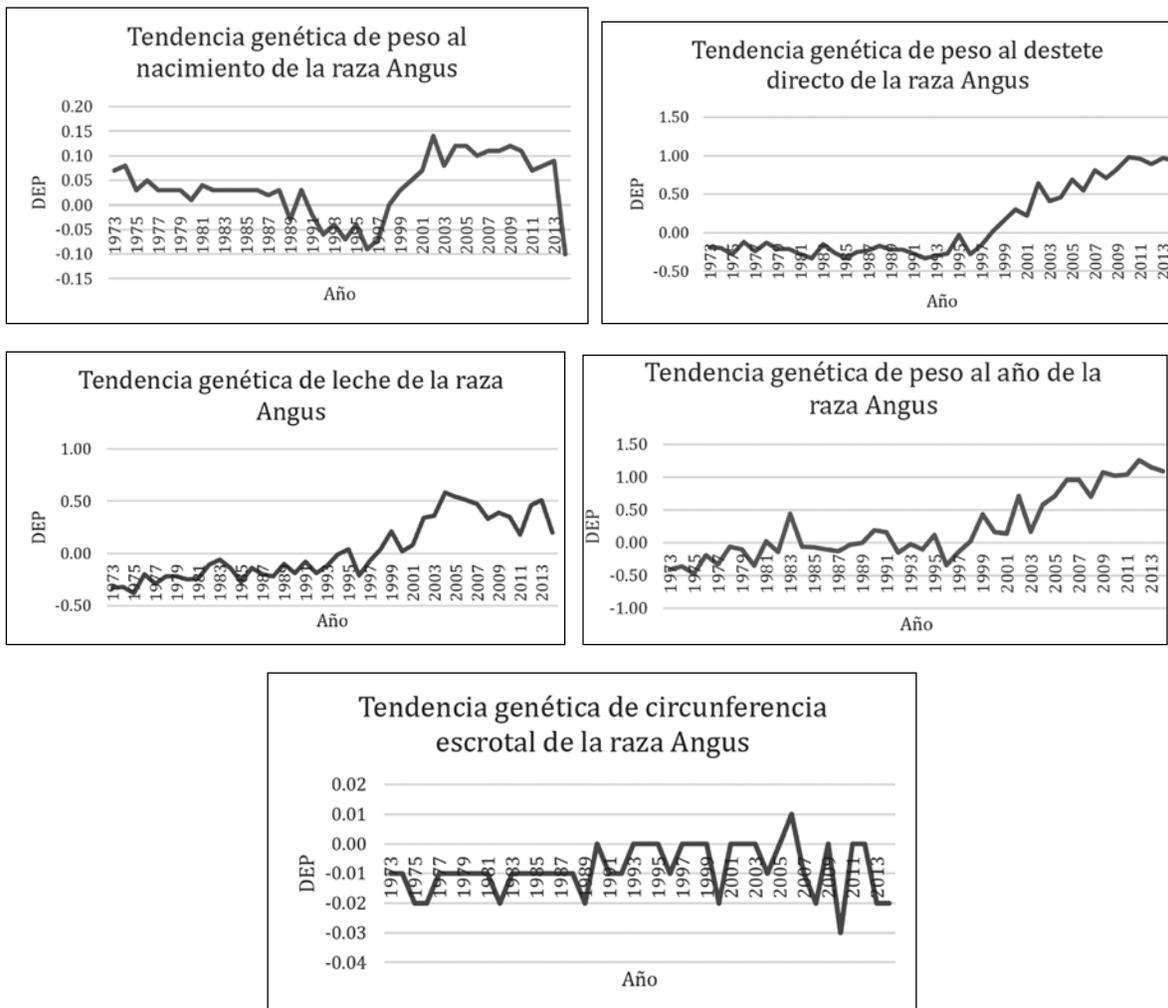


Figura 1 .Tendencias genéticas de la raza Angus

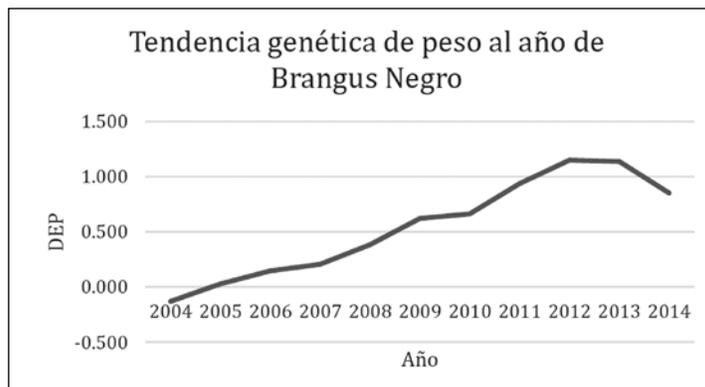
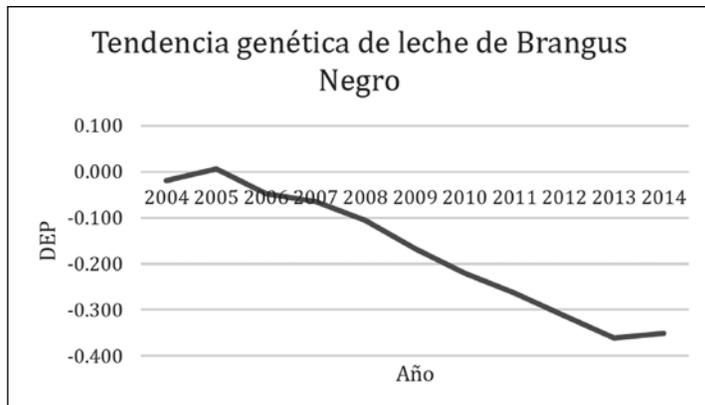
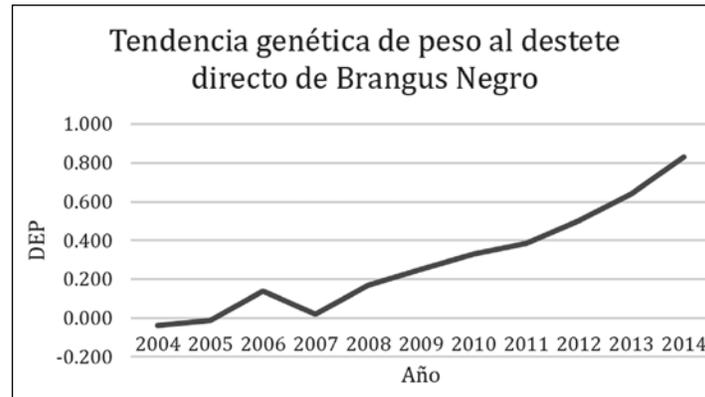
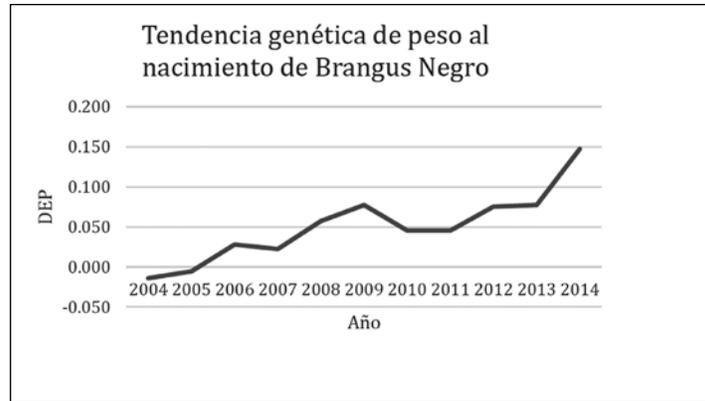
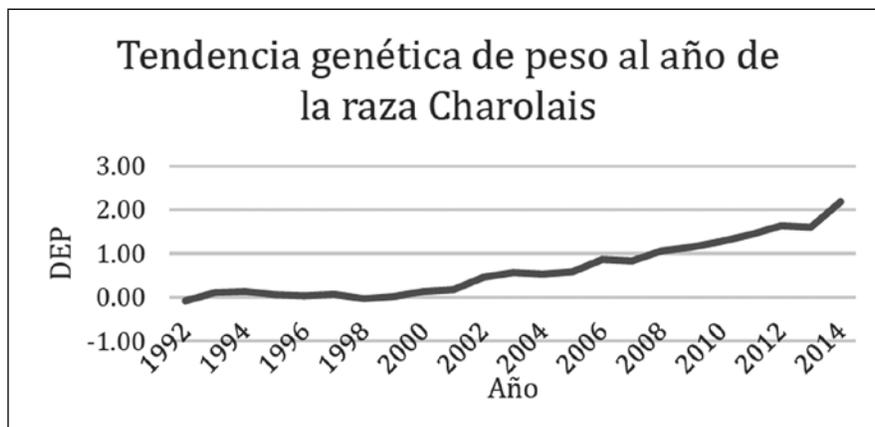
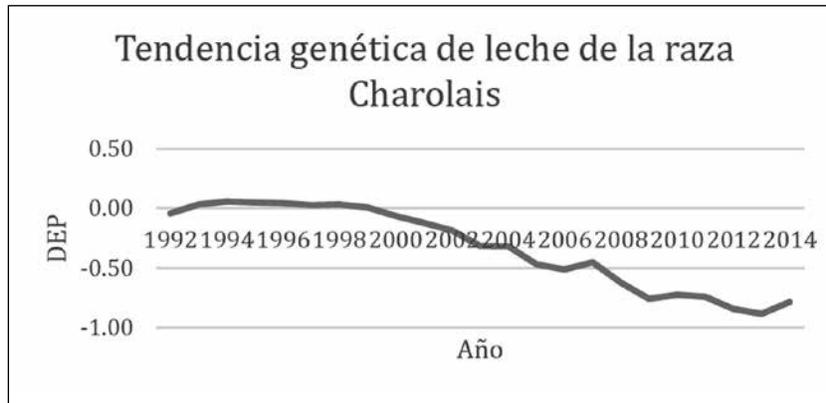
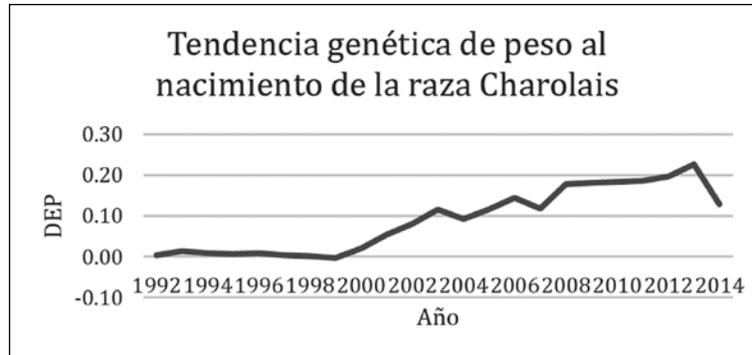


Figura 2 .Tendencias genéticas de la raza Brangus Negro



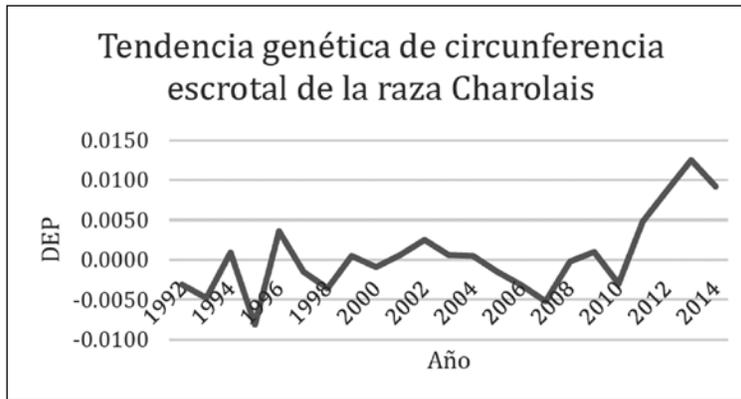
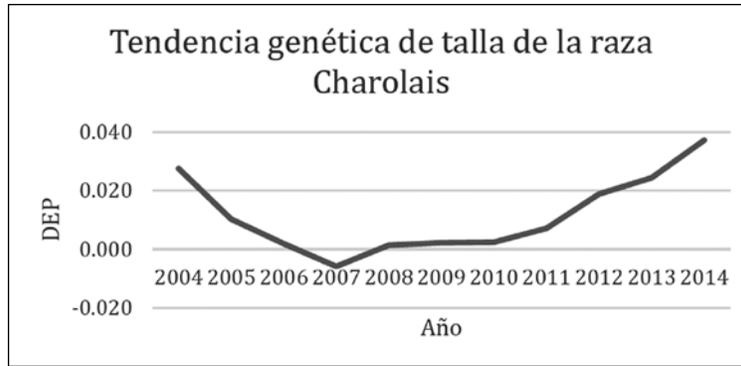
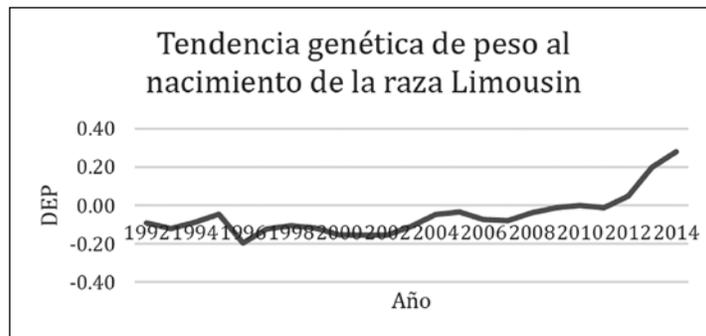


Figura 3 . Tendencias genéticas de la raza Charolais



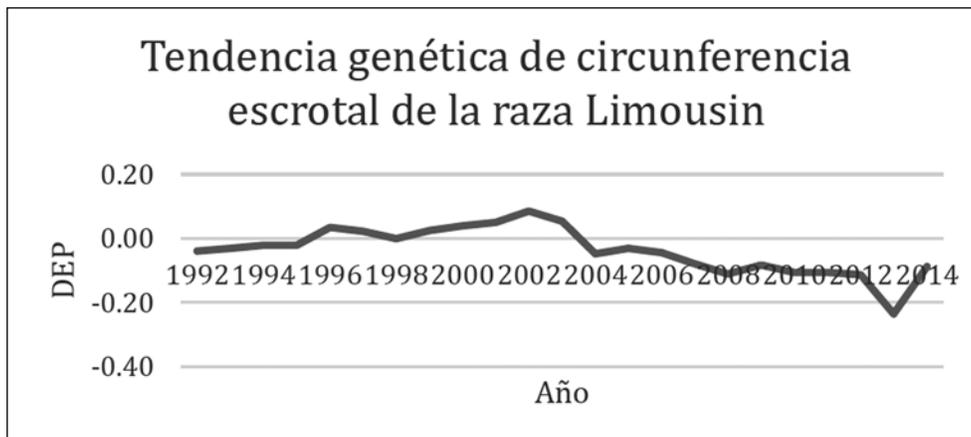
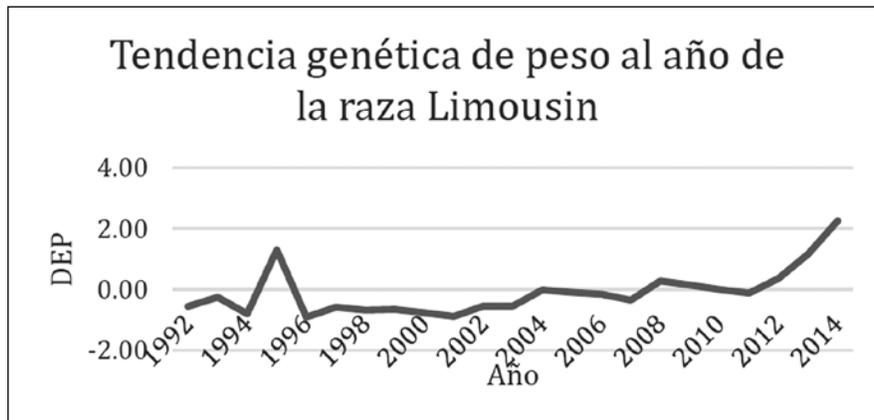
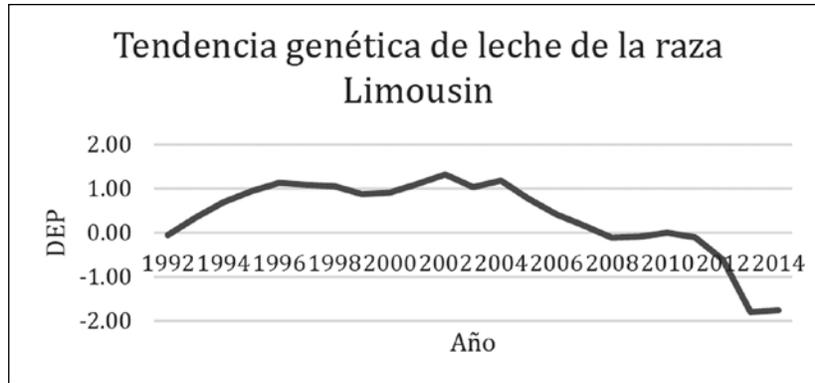
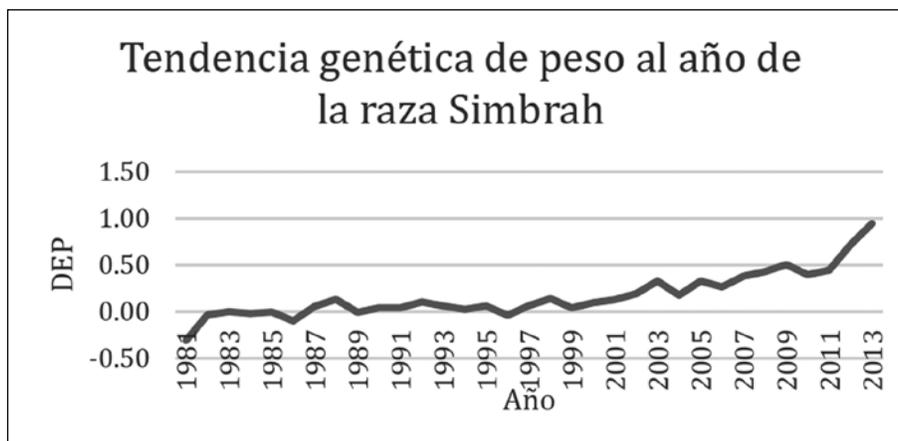
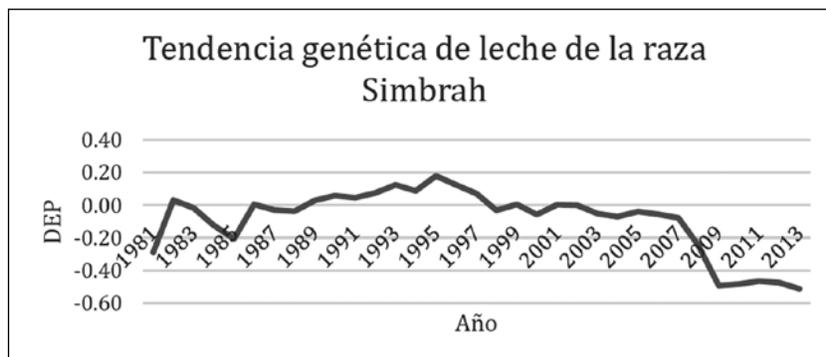
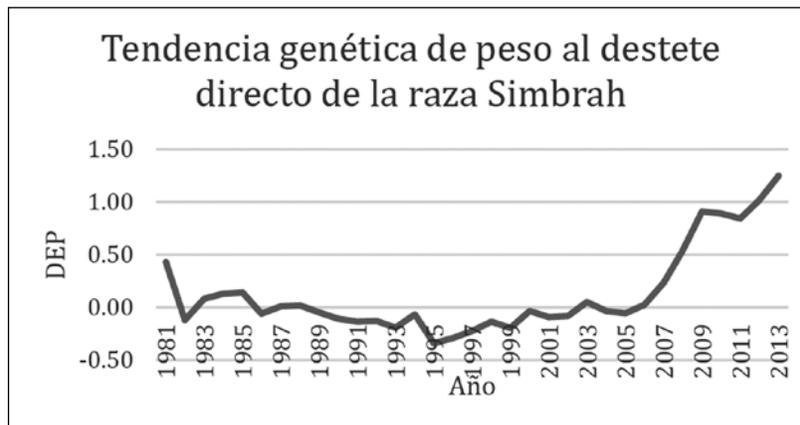
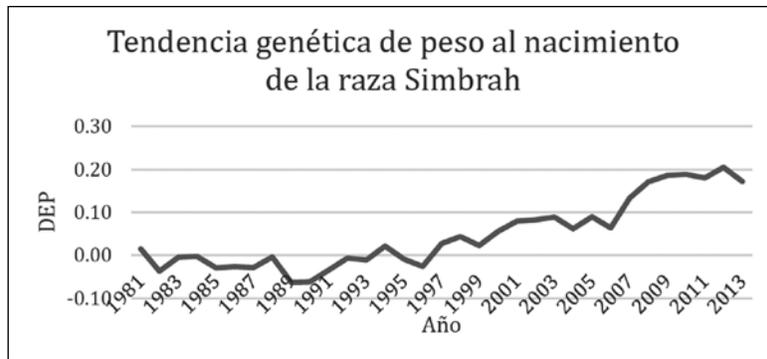


Figura 4 .Tendencias genéticas de la raza Limousin.



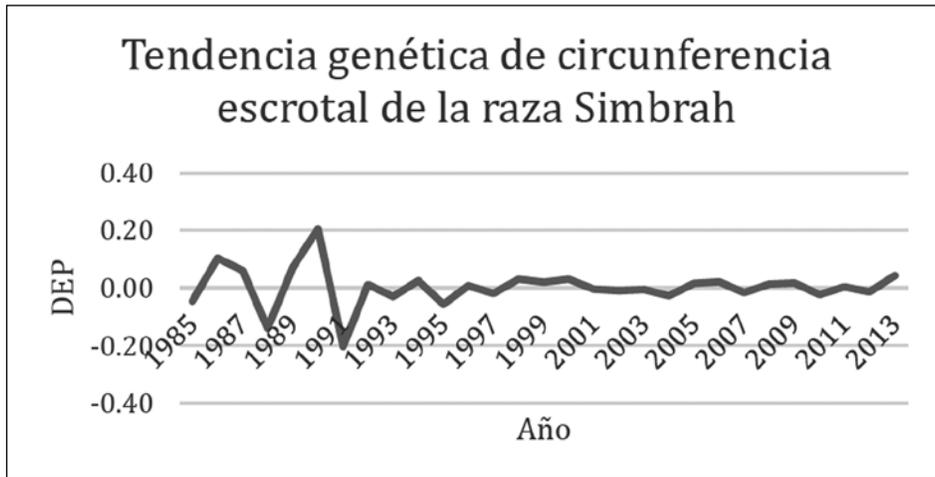
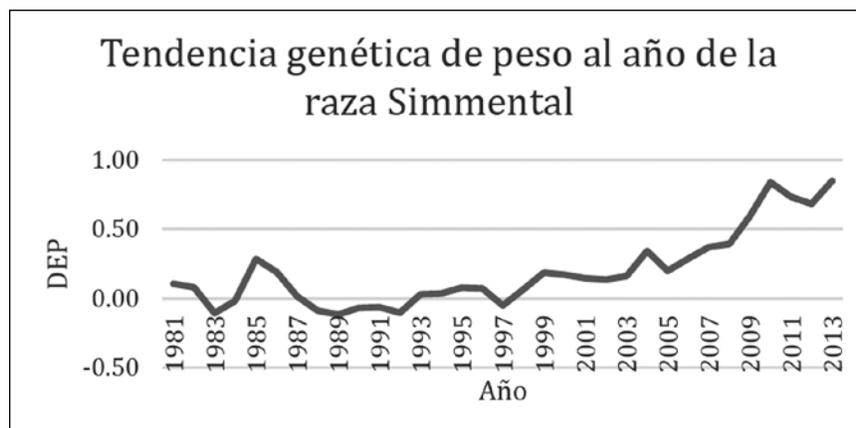
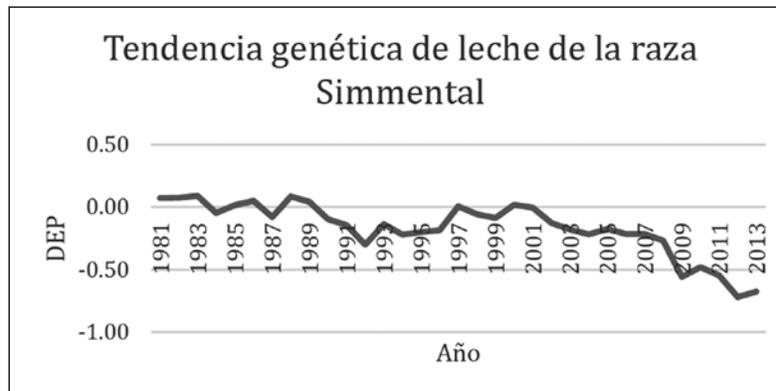
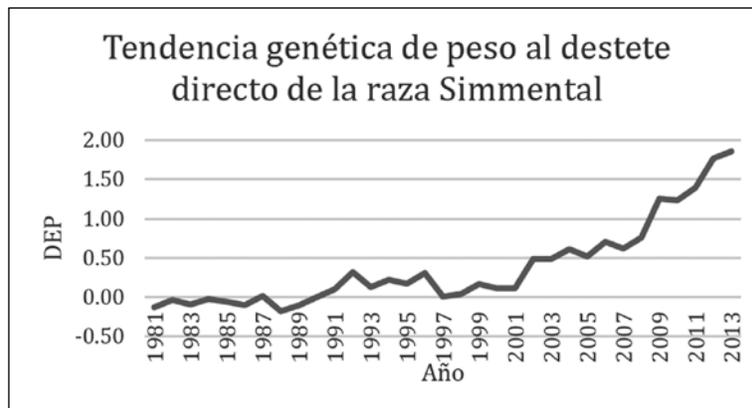
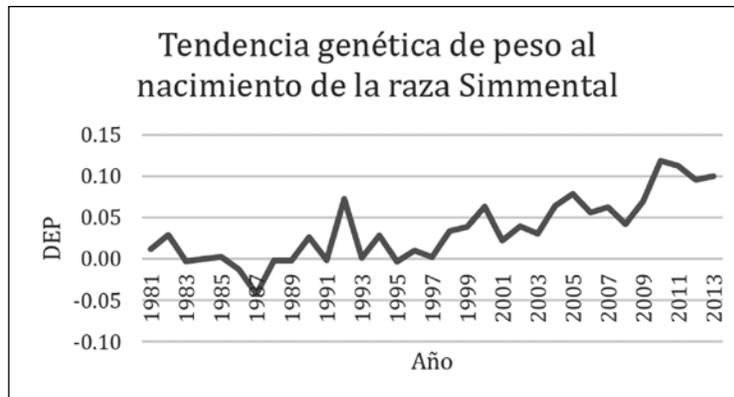


Figura 5 .Tendencias genéticas de la raza Simbrah



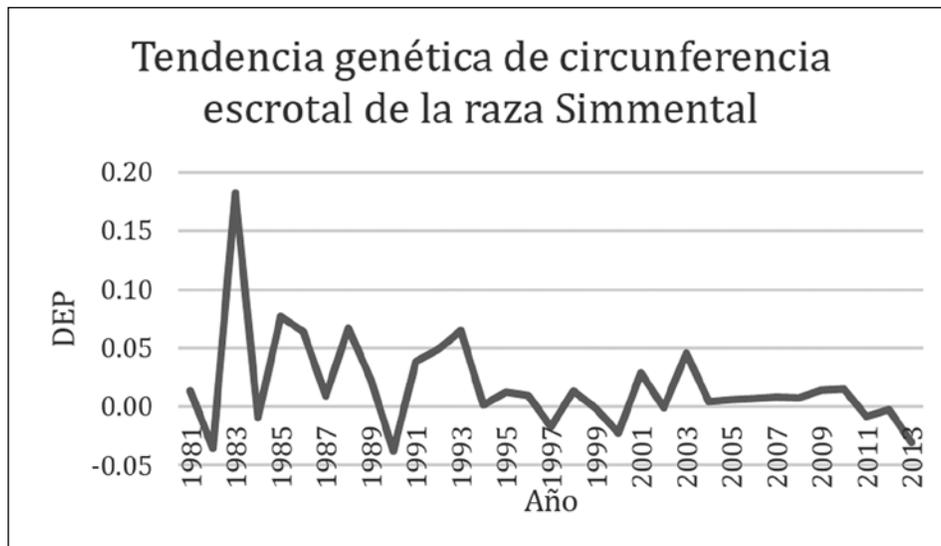
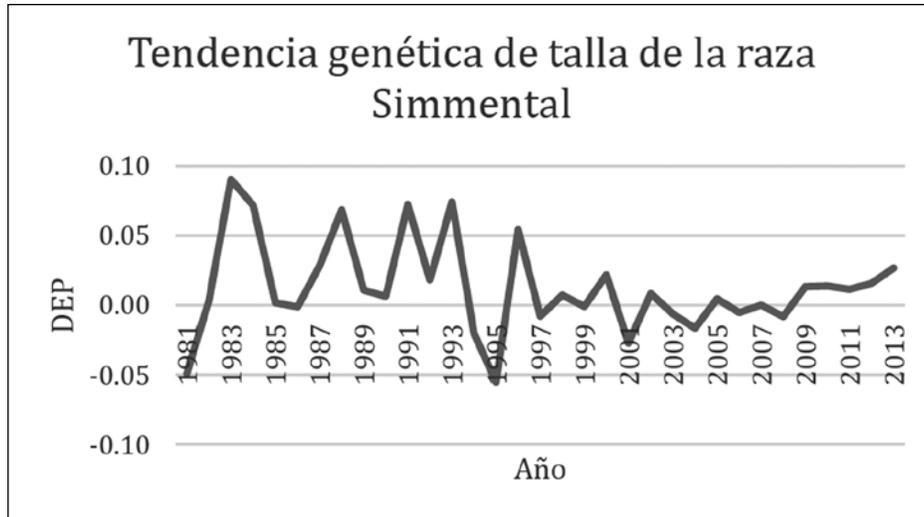
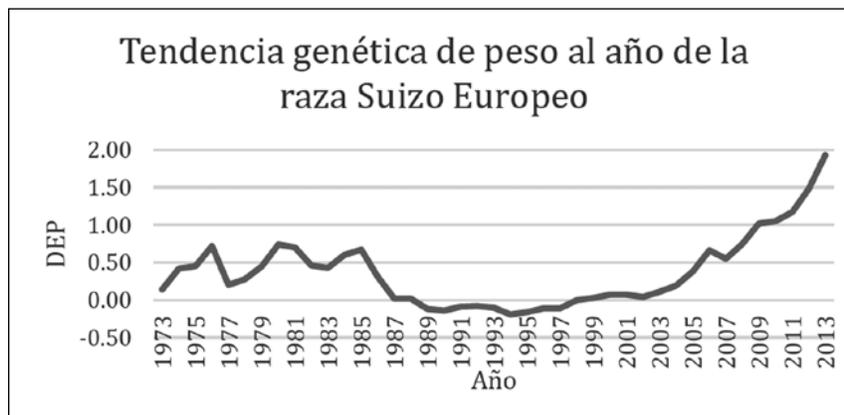
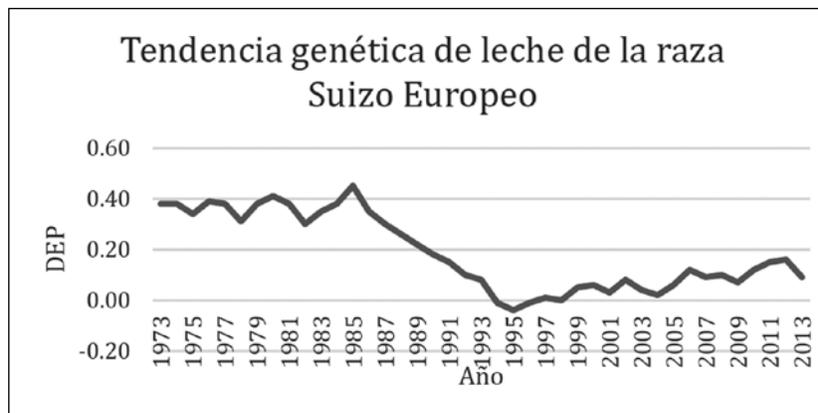
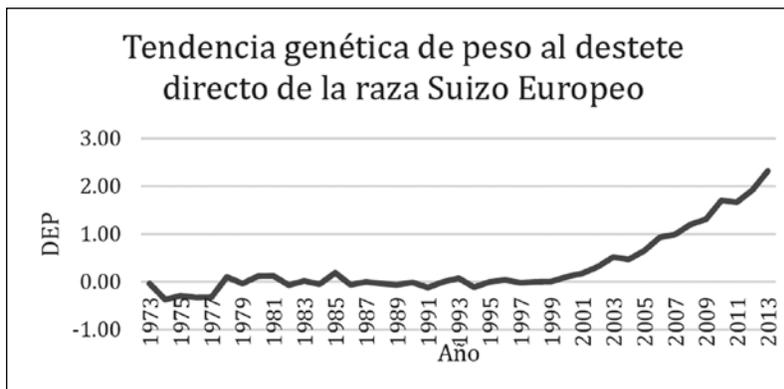


Figura 6 .Tendencias genéticas de la raza Simmental



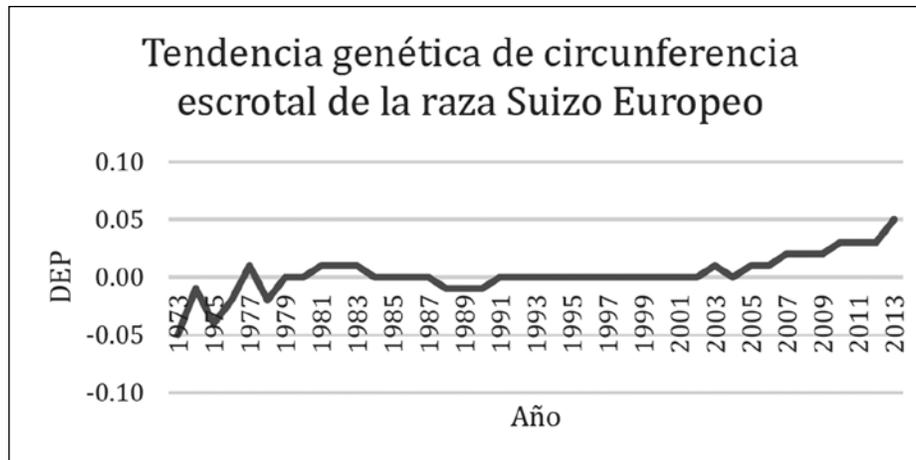


Figura 7 .Tendencias genéticas de la raza Suizo Europeo.

## IV.6 AVANCES EN INVESTIGACIÓN GENÓMICA

Hay descritos en la literatura una gran cantidad de marcadores moleculares localizados en genes que se asocian a diferentes rasgos productivos, la mayoría de ellos son marcadores del tipo SNP (Single Nucleotide Polymorphism). Estos marcadores se han utilizado para realizar asociaciones a todo tipo de fenotipos (desde rasgos de calidad hasta rasgos de resistencia y adaptación) tanto en razas de ganado taurino como indicus. Su aplicación como estrategia para asistir la selección y mejoramiento genético, queda plenamente justificado en rasgos productivos que son complejos de medir como lo es la calidad de la carne, pero también se han estudiado para rasgos de los cuales se tienen registros productivos como son los rasgos de crecimiento. En México se han estudiado marcadores asociados a rasgos de crecimiento y calidad de la carne.

Hasta la fecha son pocos los genes candidatos que se han estudiado para describir los rasgos de crecimiento en bovinos. Estos incluyen principalmente los genes del eje somatotrópico y están descritas en ellos variaciones genéticas que se han asociado con diferentes parámetros de este rasgo complejo.

Diferentes estudios realizados en hatos de ganado de la raza Charolais en México han mostrado asociación entre algunos marcadores moleculares y diferentes rasgos de crecimiento, como pesos al nacimiento, destete y año de edad.

En un estudio realizado en el 2013, se analizó un panel de 43 marcadores localizados en genes del eje somatotrópico, incluyendo los genes de la hormona de crecimiento y su receptor, encontrándose que un marcador (GHR6.1) del receptor de la hormona del crecimiento explicó aproximadamente 9 % de la varianza genética ( $P=0.0877$ ) del peso al nacimiento, con un  $aG>A=0.509$ .

Otros estudios también en la raza Charolais y en la raza Brahman han identificado nuevos marcadores asociados a rasgos de crecimiento. Estos marcadores incluyen al rs136289117 localizado en el gen RXRA, el cual mostró un efecto significativo ( $P = 0.0394$ ) para peso al destete en el ganado Brahman. La media del genotipo heterocigoto (215.029 kg) fue aproximadamente 10 kg mayor en comparación con el genotipo CC homocigoto (206.152 kg). Para el ganado Charolais, se encontró asociación de cuatro SNP (rs210778604, g.106004449, rs208140993, rs385131275) localizados en el receptor del gen IGF1 y el gen EGFR, para peso al nacimiento y peso al destete, respectivamente.

Desafortunadamente, en México no existe un mercado que demande carne bovina de alta calidad, ya que los consumidores buscan productos que se ajusten más a su economía, sin buscar en muchas ocasiones la calidad de dicho producto. La falta de exigencia de carne bovina de mejor calidad ha provocado que los productores mexicanos busquen incrementar la cantidad de este producto, sin tomar en cuenta la mayoría de las veces su calidad. Sin embargo, se han realizado algunos estudios enfocados a evaluar la calidad de la carne bovina y su asociación a marcadores moleculares.

El gen Miostatina (MSTN) es también conocido como el gen del Doble Músculo. En bovinos, diferentes mutaciones de este gen se han asociado a características de peso de la canal y calidad de la carne, además del doble músculo o hipertrofia muscular.

En México, algunos productores de la raza Charolais han optado por limitar, e incluso eliminar, la presencia del doble músculo en sus hatos, debido a los problemas de distocia. Para lograrlo, ellos se han basado en la inspección visual de los animales, buscando las características relacionadas con el síndrome del doble músculo. Sin embargo, el uso de pruebas de ADN específicas para detectar el alelo Q204X han identificado portadores del alelo en frecuencias que van de 2 a 21.8 %. Por lo tanto, es posible que en los animales portadores se aprovechen las ventajas productivas de esta condición genética.

Se han realizado evaluaciones de la calidad de la carne bovina comercial mexicana, utilizando marcadores moleculares del tipo SNPs (TG5, CAPN1 316 y 4751, Leptina) asociados a calidad de carne (grasa intramuscular, terneza, y fuerza de corte). En estos trabajos se reportaron efectos significativos en los genotipos CAPN1 316 CT y CT TG5 asociados a la calidad de la carne, por lo que estos pueden ser utilizados para la caracterización de la carne bovina comercial mexicana. En 2012, se evaluaron tres marcadores asociados a la calidad de la carne y características productivas. Para ello se utilizó sangre de 80 toretes Charolais de un año de edad. Los marcadores utilizados fueron CAPN316 y CAPN4751 asociados a terneza de la carne, y TG5 asociado al marmoleo. Se encontró que el gen de la CAPN4751 tiene efectos significativos sobre el área del músculo Longissimus dorsi y grasa intramuscular; sin embargo, no se encontró asociación significativa del marcador TG5 a ningún rasgo de marmoleo.

Los marcadores asociados a suavidad de la carne y marmoleo han sido utilizados para evaluar su frecuencia en ganado de registro de las razas Charolais, Simmental, Simbrah y Brangus Rojo. Más recientemente, se ha reportado la caracterización de cinco razas Cebú en México (Brahman, Gyr, Guzerat, Indubrazil y Sardo Negro). De acuerdo a las frecuencias alélicas y genotípicas reportadas, se puede concluir que para los marcadores CAST-T1 y CAPN4751 asociados a suavidad de la carne, los alelos favorables se encuentran en frecuencias que a través del diagnóstico molecular se puede dirigir su introgresión y selección asistida para mejorar la suavidad de la carne.

Si bien en algunos países, incluyendo México, se ha iniciado con la inclusión de los resultados del diagnóstico molecular en los catálogos de sementales con el fin de incrementar el valor económico del animal que se comercializa, este primer paso de ninguna forma garantiza mayor productividad o competitividad si antes no se estima en las poblaciones analizadas el efecto del genotipo con los rasgos fenotípicos. La falta de esta información hace imposible elevar objetivamente la competitividad en la venta de sementales, ya que no se tienen parámetros que cuantifiquen la ganancia productiva de la compra de un semental con determinado genotipo.

## Bovinos de doble propósito

En México, existen tres asociaciones de criadores de registro de bovinos de doble propósito: Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Bovino Holando Cebú de Registro A.C., Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Suiz-Bú A.C. y Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tauríndicus A.C. En comparación con las asociaciones de criadores de bovinos productores de carne más importantes, en términos del tamaño sus poblaciones, como la Asociación Mexicana Simmental Simbrah y la Charolais Charbray Herd Book de México, las asociaciones de criadores de bovinos de doble propósito son relativamente más jóvenes y menos importantes, dado que sus poblaciones son mucho más pequeñas y su distribución está prácticamente limitada a algunos estados que presentan clima tropical (e.g., Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Chiapas). En el Cuadro 6 se presenta el número de registros analizados en la última evaluación y las instituciones responsables de la evaluación. La Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Bovino Holando Cebú de Registro A.C. ha realizado evaluaciones genéticas para producción de leche, peso al nacimiento, peso al destete y peso al año. Por el contrario, las evaluaciones genéticas realizadas por la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tauríndicus A.C. sólo han sido para producción de leche, pero el número de registros analizados por esta asociación es mayor que el número de registros analizados por la asociación de la raza Holando-Cebú. Por su parte, la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Suiz-Bú A.C. sólo ha estimado valores genéticos para características de crecimiento, peso al nacimiento, peso al destete y peso al año. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) es el responsable técnico de las evaluaciones genéticas de las razas Tauríndicus y Holando-Cebú, mientras que la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) es el responsable técnico de las evaluaciones de la raza Suiz-Bú.

Cuadro 6. Número de registros en la última evaluación de razas bovinas de doble propósito				
Raza	Producción de leche	Peso al nacer	Peso al destete	Peso al año
Holando-Cebú	862	831	774	752
Tauríndicus	2,921	-	-	-
Suiz-Bú	-	6,419	888	852

## IV.7 CONSERVACION DE RECURSOS GENÉTICOS EN LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL

### IV.7.1 SITUACIÓN MUNDIAL

De acuerdo con el reporte de la Situación Mundial de los Recursos Genéticos Animales para la Alimentación y la Agricultura se considera la existencia de 1,311 razas de bovinos que, dependiendo de su situación de riesgo se clasifican como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Estado de riesgo de razas de ganado bovino en el mundo.	
Situación	No. de Razas
Fuera de riesgo	499
En peligro estable	60
En peligro	75
Crítico estable	26
Crítico	49
Extinta	209
Desconocido	393
Total	1311

La clasificación de la situación de riesgo se hace de acuerdo con los siguientes criterios:

**Extinta:** una raza se considera extinta cuando no hay reproductores machos o hembras; pero puede haber semen, óvulos y embriones congelados que puedan permitir la restitución de la raza. En realidad, la extinción pudo haberse considerado antes de la pérdida del último animal o material genético.

**Crítico:** una raza se considera en situación crítica si el total de hembras de cría es menor o igual a 100 o el total de machos de cría es menor o igual a cinco; o el tamaño global de la población es menor o igual a 120 y disminuyendo, y el porcentaje de hembras apareadas con machos de la misma raza está por debajo de 80 %, y no está clasificada como extinta.

**Crítica-estable:** son aquellas poblaciones en situación crítica con programas de conservación activos, o las poblaciones están bajo la responsabilidad de empresas privadas o instituciones de investigación.

**En peligro:** una raza se considera en peligro si el total de hembras de cría es mayor de 100, o el total de machos de cría es menor o igual a 20 y mayor de cinco; o el tamaño global de la población es mayor de 80 y menor de 100 y en aumento, y el porcentaje de hembras apareadas con machos de la misma raza es mayor de 80 %, o el tamaño global de la población es de más de 1,000 y menor o igual a 1,200 y disminuyendo y el porcentaje de hembras apareadas con macho de la misma raza es menor del 80 %, y no está considerada en ninguna de las categorías anteriores.

En peligro-estable: son aquellas poblaciones en peligro con programas de conservación activos o las poblaciones están bajo la responsabilidad de empresas privadas o instituciones de investigación.

Raza en riesgo: una raza clasificada como en situación crítica, crítica-estable, en peligro o en peligro estable.

En la determinación de la situación de riesgo de una raza, la información demográfica es muy importante. El tamaño efectivo de la población es la información usada, de entrada, para definir la situación de riesgo; depende del número de machos y hembras que se usan como reproductores cada generación y permite conocer los niveles de consanguinidad y la posible pérdida de diversidad genética en una población. Asimismo, las tendencias presentes y futuras influyen en la situación de riesgo; una tendencia rápida a la reducción de la población indica un mayor nivel de riesgo, mientras que si el tamaño de la población está estable o en aumento, el nivel de riesgo es menor o no lo hay.

Se recomienda obtener información del tamaño y estructura de la población por lo menos una vez en cada generación, 5 años en bovinos, para tener un monitoreo efectivo que permita conocer la situación de riesgo de una raza. Es común que se tenga información demográfica que no se ha actualizado con la frecuencia deseada, lo que resulta de poca utilidad. Se señala que es importante desarrollar un método para hacer un muestreo representativo de las poblaciones animales para estimar, de manera efectiva, su tamaño y otra información demográfica; también señalan que faltan medidas que reflejen la dilución genética por cruzamiento, ya que no es clara la interacción con razas transnacionales y el nivel de afectación en la integridad de las razas locales.

Un aspecto más que hay que considerar en la determinación de la situación de riesgo es la distribución geográfica de la población; una población más concentrada es más vulnerable a desastres locales, como epidemias, que una población más dispersa. Asimismo, una raza que está presente en otros países debe tener menor prioridad de los planes de conservación de un país.

La variación genética en las poblaciones de ganado en el mundo está disminuyendo, tanto dentro como entre razas. Pero la variación genética es necesaria para que haya mejoramiento genético que lleve a un aumento de la productividad y de la adaptación a condiciones ambientales cambiantes, asociadas con el clima, condiciones de producción o en el mercado.

El objetivo principal de un programa de conservación debe ser preservar tanta diversidad genética como sea posible. En este sentido, es importante conservar tanto la diversidad dentro como entre razas.

Uno de los factores a considerar en la elección de razas a conservar es la diversidad genética existente dentro de las razas, que puede conocerse con la información del pedigrí o el conocimiento de la historia de la raza; pero en muchas ocasiones, esta información no se tiene. La alternativa es usar la información de genética molecular, que provee de información de la diversidad, tanto entre como dentro de razas; y puede también ser usada para ayudar a cuantificar el potencial de evolución futura.

Otro factor a considerar es el comportamiento fenotípico en características de producción y adaptación. Esta información puede utilizarse para estimar la variabilidad genética existente. La información molecular también puede ser útil en cuándo se pueda identificar la existencia de genes asociados a características de interés presente o futuro.

Existen métodos propuestos por varios autores para definir la importancia relativa de las razas en un programa de conservación. Estos métodos tienen ventajas y desventajas y su utilización depende de la situación en la que se utilizan. También hacen una recopilación de programas computacionales disponibles para ser usados en el proceso de priorización; la mayoría de los programas están disponibles sin costo y con ninguno de ellos se puede hacer el proceso de priorización completo. Un aspecto que impide el uso de los métodos de priorización de conservación de razas es la falta de la caracterización molecular de muchas razas. Por ello, es necesario promover ese proceso y, simultáneamente caracterizar las razas en sus fenotipos, condiciones de producción, distribución geográfica e importancia socioeconómica y cultural.

## IV.7.2 SITUACIÓN NACIONAL

De acuerdo con el Documento Metodológico para el Cálculo del Subíndice de Diversidad Pecuaria en México hay 10 razas de bovinos Criollos, que se muestran en el Cuadro 8, así como el inventario estimado de hembras en edad reproductiva de cada una de ellas.

También se señala un inventario de 157,122 cabezas de Criollo de Rodeo en Chihuahua, como resultado de un censo levantado en 2006 por la SAGARPA, el Gobierno del Estado y la Unión Regional Ganadera. Esta información sugiere que de las razas locales,

solo la Nukini estaría en riesgo. En sentido estricto, el Criollo Lechero Tropical, Cuernos Largos y Romosinuano, siendo razas de reciente introducción, son más bien razas transfronterizas que locales.

Para ninguno de los grupos genéticos locales identificados se han hecho estudios de dinámica del tamaño de la población. Estos estudios son necesarios para conocer las tendencias en el tamaño de la población y tomar las acciones necesarias, en caso de que resulte una situación de riesgo. La recomendación es obtener información del tamaño y estructura de la población cada 5 años.

Cuadro 8. Razas de bovinos Criollos en México e inventario de hembras en edad reproductiva	
Raza	No. de hembras
Criollo de Rodeo o Rarámuri	488,125
Criollo del Golfo	222,696
Ganado de Lidia	24,500
Criollo Chinampo	10,000
Criollo Coreño o del Nayar	6,240
Frijolillo	1,921
Cuernos Largos	585
Criollo Lechero Tropical	462
Romosinuano	370
Nunkini	200

### IV.7.3 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA Y DE LA COLORACIÓN DEL PELAJE

Diversos grupos de investigadores identificaron las coloraciones de pelaje presentes en Criollos de los Valles Altos de Chiapas; los Criollos Chinampos, de Criollos de Chihuahua, Guerrero, Oaxaca, Puebla y Nayarit y refieren lo encontrado en Baja California. En todos los casos se encontró una gran diversidad de colores, muchos de ellos compartidos por los diferentes grupos de Criollo.

En cuanto a caracterización morfométrica, se menciona la caracterización del Criollo de Rodeo con base en 15 criterios, que incluyen algunas mediciones. En el Criollo Chinampo considerando 10 criterios, y en ganado Criollo de la Mixteca usando 42 variables.

### IV.7.4 CARACTERIZACIÓN PRODUCTIVA

#### Criollo Chinampo

Utilizando información que se tomó en visitas a 245 ranchos en las que se midieron 1150 hembras y 300 machos, sin proporcionar mayor información sobre la distribución de animales por rancho, encontraron pesos de  $255 \pm 9$  kg en hembras adultas y  $345 \pm 15$  kg en machos adultos. Además, se ha observado que en presencia del macho las vacas concentran su conducta estral en un periodo más corto y aumenta la proporción de estros con duración menor que 8 horas. También, se encontró que la frecuencia de amamantamiento es mayor durante las primeras horas de la mañana y al final de la tarde, y que la frecuencia y el tiempo de amamantamiento se redujeron a los 180 días. Asimismo, se concluyó que, con base en temperatura rectal y tasa respiratoria las vacas Chinampo fueron más tolerantes al estrés calórico que las Jersey o Holstein.

## Criollo de Rodeo

Se informan de pesos de 17.5 kg al nacimiento,  $239 \pm 4.2$  kg en hembras adultas y  $314 \pm 18.6$  kg en machos adultos. En vacas con amamantamiento restringido, sometidas a dos tratamientos hormonales para sincronización del estro e inseminadas a tiempo fijo, todas mostraron estro, pero sólo el 18.8 % quedaron gestantes; por que las vacas mostraron estro antes de lo esperado de acuerdo al protocolo; también se observó una mejor eficiencia reproductiva en vacas con mejor condición corporal.

## Criollo Mixteco

Analizando información tomada en 135 animales de un centro de acopio que comercializa bovinos machos y la edad de los animales, se estimó por erupción dentaria y encontraron un peso promedio de  $176 \pm 51$  kg en machos de 2 años.

## Criollo Coreño

En el Campo Experimental El Verdineño del INIFAP se estableció un hato de Criollo Coreño en 1982, con la adquisición de vacas y toros en la sierra de Nayarit. De 1982 y 1990 se desarrolló un hato con antecedentes conocidos, que fue usado en un cruzamiento dialelo con Guzerat. Se observó que vaquillas puras y cruzadas hijas de toros Criollo Coreño presentaron una edad menor al primer parto en  $158 \pm 37$  días que vaquillas puras y cruzadas hijas de toros Guzerat; asimismo, vaquillas puras y cruzadas hijas de vacas Criollo Coreño tuvieron su primer parto  $104 \pm 35$  días más temprano que vaquillas puras y cruzadas hijas de vacas Guzerat. En específico, las vaquilla Criollo Coreño tuvieron el primer parto antes que las Guzerat ( $1392 \pm 38$  vs  $1655 \pm 31$  días, respectivamente).

El comportamiento reproductivo de las vacas producidas en el dialelo se muestra en el Cuadro 9.

Genotipo de la vaca	TE	TG	TP	TD
G	$49 \pm 13$	$46 \pm 12$	$42 \pm 14$	$38 \pm 14$
GC	$82 \pm 17$	$72 \pm 16$	$71 \pm 15$	$63 \pm 21$
CG	$75 \pm 10$	$64 \pm 11$	$56 \pm 12$	$54 \pm 13$
C	$69 \pm 09$	$60 \pm 09$	$59 \pm 10$	$52 \pm 10$

No se encontraron diferencias en efectos genéticos directos y maternos de Criollo Coreño y Guzerat excepto para tasa de parto, en la que Criollo Coreño fue 15 puntos porcentuales superior a Guzerat. En particular, las vacas Criollo Coreño fueron superiores a las Guzerat en 20, 14, 17 y 14 puntos porcentuales en tasas de estro, gestación, parición y destete, respectivamente.

El crecimiento hasta el destete de las crías y la productividad de las vacas producidas en el dialelo y los resultados se muestran en el Cuadro 10. Las vacas Criollo tuvieron las crías con los menores pesos al nacimiento y al destete; el mejor comportamiento reproductivo de las vacas Criollo compensó los bajos pesos al destete, de tal manera que no hay diferencias entre Criollo y Guzerat en kilos de becerro destetado por vaca en empadre. Las cruza Guzerat x Criollo fueron las que produjeron los mayores kilos de becerro destetado por vaca en empadre. Estos resultados muestran la conveniencia de la utilización del Criollo Coreño en la producción comercial de carne de bovino.

Al comparar la producción de leche y su influencia sobre el crecimiento hasta el destete de las crías, los resultados mostraron que la diferencia en efectos genético directo para producción total de leche fue de  $21.3 \pm 7.2$  a favor de Guzerat; la diferencia en efectos genéticos maternos fue de  $69 \pm 58$  a favor de Criollo.

Cuadro 10. Características relacionadas con la productividad al parto y al destete de vacas Guzerat (G), Guzerat x Criollo Coreño (GC), Criollo Coreño x Guzerat (CG) y Criollo Coreño (C)				
Genotipo de la vaca	PN, kg	PA210, kg	BN, kg	BD, kg
G	$31.72 \pm 0.3$	$177.42 \pm 2.8$	$17.69 \pm 1.2$	$98.44 \pm 8.4$
GC	$30.44 \pm 1.0$	$187.45 \pm 7.7$	$19.73 \pm 2.6$	$143.50 \pm 24.1$
CG	$31.11 \pm 0.4$	$183.34 \pm 3.3$	$18.21 \pm 1.5$	$116.15 \pm 10.9$
C	$28.86 \pm 0.3$	$153.50 \pm 2.6$	$16.38 \pm 1.3$	$83.97 \pm 7.9$

PN = Peso al nacer; PA210 = Peso al destete; BN = kg de becerro nacido por vaca en empadre; BD = kg de becerro destetado por vaca en empadre.

También se encontró que las crías de vacas Criollo consumieron 22 kg de leche por kilogramo de peso al destete, mientras que las de Guzerat consumieron 31 kg. Estudiando el comportamiento en corral de engorda y las características de la canal en crías de vacas Criollo, Guzerat y sus cruza recíprocas apareadas con toros Angus, encontrando que las crías de abuelo Guzerat iniciaron el período de engorda  $29.6 \pm 8.6$  kg más pesados que las crías de abuelo Criollo; esta ventaja se mantuvo durante todo el período de engorda, al final de la engorda la diferencia fue  $41.0 \pm 13.7$  kg; no se detectaron diferencias importantes para ganancia diaria promedio o eficiencia alimenticia entre razas de abuelos; los resultados sugieren un mejor comportamiento, durante la engorda y para algunas características de la canal, de las crías de abuelo Guzerat y un mejor comportamiento para algunas características de la canal de las crías de abuela Criolla.

### Criollo Lechero Tropical

Al comparar 10 vacas Criollo Lechero Tropical con 10 vacas Australian Friesian Sahiwal y 10 vacas doble propósito, todas de segundo parto. El intervalo parto primer estro fue de  $55.1 \pm 20.10$ ,  $37.2 \pm 7.42$  y  $93.0 \pm 15.8$  días, respectivamente; la producción de leche por día interparto fue:  $6.6 \pm 1.9$ ,  $11.9 \pm 4.4$  y  $8.3 \pm 1.8$  l, respectivamente.

Cuadro 11. Comportamiento productivo y reproductivo del ganado Criollo Lechero Tropical de México			
Característica	n	Media	Error estándar
Producción de leche a 305 d (kg)	1075	1774	11.4
Duración de la lactancia (d)	896	319	2.3
Edad al primer parto (d)	388	1222	12.7
Servicios por concepción	1263	1.6	0.03
Intervalo entre partos (d)	619	455	3.2

Rosendo-Ponce y Becerril-Pérez, 2015.

## IV.7.5 CARACTERIZACIÓN MOLECULAR

### Criollo de Rodeo

Análisis por secuenciación de 10 clonas del BoLA-DRB3 en bovinos Criollos de Rodeo, resultaron 8 nuevos alelos que mostraron homología con alelos ya reportados en un 99 % en 3 casos, 98 % en 4 y 94 % en uno. Es necesario hacer estudios que permitan comprobar si estos alelos explican la mayor resistencia a enfermedades que el Criollo de Rodeo parece tener.

Investigadores evaluaron el polimorfismo del locus BoLADRB3.2 del complejo mayor de histocompatibilidad en 47 animales Criollo de Chihuahua y 47 de Tamaulipas, encontrándose 18 y 34 alelos, respectivamente, en frecuencias que variaron de 0.011 a 0.383; algunos de estos alelos son exclusivos para estas poblaciones.

### Criollo Lechero Tropical

Se ha informado que las frecuencias génicas en el locus de la k-caseína en Criollo Lechero Tropical fueron de 0.57 para la variante A y 0.43 para la B. El genotipo BB está relacionado con un elevado contenido de grasa y caseína, lo que lo hace más deseable para la producción de queso.

También se determinaron las variantes genéticas, estimaron las frecuencias fenotípicas y la relación de las variantes genéticas de  $\beta$ -lactoglobulina con la composición y producción de la leche de vacas Criollo Lechero Tropical y Holstein; identificaron las variantes genéticas A y B, los genotipos AA, AB y BB, con frecuencias de 0.14, 0.33 y 0.53, respectivamente, para Criollo Lechero Tropical. La concentración de  $\beta$ -lactoglobulina fue mayor en vacas AB y menor en vacas BB; los resultados sugieren que las características fisicoquímicas y tecnológicas de la leche de vacas Criollo Lechero Tropical podrían ser diferentes a las de las vacas Holstein. Además, los porcentajes de grasa, proteína, sólidos no grasos y sólidos totales fueron mayores en el fenotipo BB.

### Criollo Coreño

Recientemente, se estimó la diversidad genética del Criollo Coreño de tres localidades de Nayarit: El Nayar, La Yesca y Santiago Ixcuintla, usando marcadores SNP en plataforma de alta densidad. Los resultados obtenidos indican que las poblaciones de Criollo Coreño mantienen altos niveles de diversidad genética y que en la práctica. La coancestría molecular estimada indica la población de El Nayar es diferente de las otras dos, que pueden considerarse como parte de una misma población.

## IV.8 LITERATURA CONSULTADA

Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tauríndicus, A.C. Catálogo 2009 de reproductores Tauríndicus. 2009.

Asociación Mexicana Simmental Simbrah. Sumario de sementales 2014.

Boettcher PJM, Tixier-Boichard MA, Toro H, Simianer H, Eding G, Gandini S, Joost D, Garcia L, Colli P. Ajmone-Maras and the GLOBALDIV Consortium. Objectives, criteria and methods of using molecular genetics data in priority setting for conservation of animal genetic resources. *Anim Genetics* 2000;41(Suppl 1):64-77.

Bolormaa SJE, Pryce KE, Kemper BJ, Hayes YD, Zhang B, Tier W, Barendse A, et al. Detection of quantitative trait loci in *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle using genome-wide association studies. *Genet Sel Evol* 2013;45:43.

Bonilla CA, Rubio MS, Sifuentes AM, Parra-Bracamonte GM, Arellano VW, Méndez MRD, et al. Association of CAPN1 316, CAPN1 4751 and TG5 markers with bovine meat quality traits in Mexico. *Genetics Mole Res* 2010;9(4):2395-2405.

Caballero A, Toro MA. Analysis of genetic diversity for the management of conserved subdivided populations. *Conservation Genetics* 2002;3:289-299.

Calus MPL, de Haas Y, Pszczola M, Veerkamp RF. Predicted accuracy and response to genomic selection for new traits in dairy cattle. *Anim* 2013;7:183-191.

Casas E, García MD, Wells JE, Smith TPL. Association of single nucleotide polymorphisms in the ANKRA2 and CD180 genes with bovine respiratory disease and presence of *Mycobacterium avium* subsp. *Anim Genetics* 2011;42(6):5717.

Cervantes P, Luna M, Hernández A, Pérez-Gil F, Ponce P, Uffo O. Polimorfismo genético en el locus de la kappa-caseína, en vacas de diferentes razas y cruces en el trópico mexicano. *Revista de Salud Animal* 2007;29(2):78-84.

Charoensook R, Gatphayak K, Sharifi AR, Chaisongkram C, Brenig B, Knorr C. Polymorphisms in the bovine HSP90AB1 gene are associated with heat tolerance in Thai indigenous cattle. *Trop Anim Health Prod* 2012;44(4):9218.

Charolais Charbray Herd Book de México. Sumario de sementales Charolais y Charbray 2014.

CONARGEN. Guía técnica de programas de control de producción y mejoramiento genético de bovinos carne. 2010.

Salih DA, EL Hussein AM, Kyule MN, Zessin KH, Ahmed JS, Seitzer U. Determination of potential risk factors associated with *Theileria annulata* and *Theileria parva* infections of cattle in the Sudan. *Parasitol Res* 2007;101:1285–1288.

David X, de Vries A, Feddersen E, Borchersen S. International genomic cooperation-EuroGenomics significantly improves reliability of genomic evaluations. *Interbull Bulletin* 2010;41:77-78.

Dayo GK, Gautier M, Berthier D, Poivey JP, Sidibe I, Bengaly Z, Eggen A, Boichard D, Thevenon S. Association studies in QTL regions linked to bovine trypanotolerance in a West African crossbred population. *Anim Genet* 2012;43(2):12332.

De Roos APW, Schrooten C, Mullaart E, Van der Beek S, de Jong G, Voskamp W. Genomic Selection at CRV. *Interbull Bulletin* 2009;39:47-50.

Decker JE, McKay SD, Rolf MM, Kim J, Alcalá AM, Sonstegard TS, Hanotte O, Götherström A, et al. 2014. Worldwide patterns of ancestry, divergence, and admixture in domesticated cattle. *PLoS Genet* 2015;106(1):26-36.

Dekkers JCM. Markerassisted selection for commercial crossbred performance. *J Anim Sci* 2007;85:2104-2114.

Dekkers JCM, Hospital F. The use of molecular genetics in the improvement of agricultural populations. *Nature Reviews of Genetics* 2002(3):22-32. DOI: 10.1038/nrg701.

Dorantes JJ, Núñez DR, Ramírez VR, Saavedra LJ. Resumen de evaluaciones genéticas para ganado Suizo Americano 2013. Universidad Autónoma Chapingo, Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Suizo de Registro, CONARGEN. <http://www.conargen.mx/index.php/asociaciones/bovinos-leche>.

Eding JH, Crooijmans RP, Groenen MAM, Meuwissen THE. Assessing the contribution of breeds to genetic diversity in conservation schemes. *Genetics Selection Evolution* 2002;34:613-633.

Espinoza VJL, Guevara FJA, Palacios EA. Caracterización morfométrica y faneróptica del bovino Criollo Chinampo de México. *Archivos de Zootecnia* 2009;58 (222):277-279.

Espinoza VJL, Sánchez JJA, Gracia JR, Sánchez R, Ortega A, Palacios EA. Thermoregulation differs in Chinampo (*Bos taurus*) and locally born dairy cattle. *Turkish J Vet Anim Sci* 2009;33(3):175-180.

Espinoza VJL, López AR, A. Palacios E., R. Ortega P., N. Ávila S., y B. Murillo A. (2007). Efecto del toro sobre el comportamiento estral de vacas Chinampas (*Bos taurus*) en una región tropical seca. *Zootecnia Tropical*, 25(1): 19-28.

Espinoza V., J. L., R. López A., R. Ortega P., A. Palacios E., A. Guillén T., y H. Hernández C. (2011a). Hábitos de amamantamiento del ganado bovino Chinampo (*Bos taurus*) de México. *Revista MVZ Córdoba*, 16(3): 2686-2691.

Espinoza V., J. L., R. Ortega P., A. Palacios E., y A. Guillén T. (2011b). Tolerancia al calor y humedad atmosférica de diferentes grupos raciales de ganado bovino. *Revista MVZ Córdoba*, 16(1): 2302-2309.

F.C. Canavez, et al. Genome sequence and assembly of *Bos indicus*. *J. Hered.*, 103 (2012), pp. 342–348

Fadista J, Thomsen B, Holm LE, Bendixen C. Copy number variation in the bovine genome. *BMC Genomics* 2010, 11:284

FAO, 1992. The management of global animal genetic resources. In: Proceedings of an Expert Consultation, Animal Production and Health Paper No. 104 (Ed. By J. Hodges), pp. 1-263. FAO, Rome.

FAO. (2007) The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/010/a1250e/a1250e.htm>.

Félix P., M., J. G. Ríos R., G. E. Erosa V., y F. Rodríguez A. (2006). Secuenciación de nuevos alelos BoLA-DRB3.2 detectados en ganado Criollo mexicano. *Técnica Pecuaria en México*, 44(1): 15-25

Fernández, I. G., J. G. Ríos R., A. Gayosso V., R. Ulloa A., and R. A. Alonso M. (2008). Polymorphism of locus DRB3.2 in populations of Creole Cattle from Northern Mexico. *Genetics and Molecular Biology*, 31(4): 880-886.

Galukande E, Mulindwa H, Wurzinger M, Roschinsky R, Mwai AO, Sölkner J. Crossbreeding cattle for milk production in the tropics: achievements, challenges and opportunities. *Animal Genetic Resources* 2013; 52 (August 2015), 111–125.

García-Ruiz A, Cole JB, VanRaden PM, Wiggans GR, Ruiz-López FJ, Van Tassell CP. Changes in genetic selection differentials and generation intervals in US Holstein dairy cattle as a result of genomic selection. Artículo en revisión PNAS.

Gaspar M Parra-Bracamonte; Ana M Sifuentes-Rincón; Williams Arellano-Vera; Alberto Almanza-González y Xochitl F De la Rosa-Reyna. 2009. Tipificación de tres marcadores genéticos de caracteres de importancia comercial en ganado Charolais: implicaciones en la ganadería para carne en México. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*

Gaspar Manuel Parra-Bracamonte & Nicolas Lopez-Villalobos y Ana Maria Sifuentes-Rincon & Stephen Morris & Luis Aristides Lopez-Bustamante & Luis Alberto Meza-Garcia Single and composite influence of growth-related candidate gene polymorphisms on additive genetic variation of birth weight in charolais beef

Gasparin G, Miyata M, Coutinho LL, Martinez ML, Teodoro RL, Furlong J, Machado MA, Silva MV, Sonstegard TS. Mapping of quantitative trait loci controlling tick [*Rhipicephalus (Boophilus) microplus*] resistance on bovine chromosomes 5, 7 and 14. *Animal genetics* 2007; 38 (5): 4539.

Groeneveld, L.F., J. A. Lenstra, H. Eding, M. A. Toro, B. Scherf, D. Pilling, R. Negrini, E. K. Finlay, H. Jainlin, E. Groeneveld, S. Weigend and The GLOBALDIV Consortium. Genetic diversity of farm animals- a review. *Animal Genetics*, 41 (Suppl. 1) 6-31

Harris BL, Johnson DL, Spelman RJ. Genomic selection in New Zealand and the implications for national genetic evaluation. *Proceedings of the 36th ICAR sesion, Niagara Falls, USA. 2009; 325-331.*

Henderson CR. *Applications of linear models in animal breeding*. 3rd edition. Canada, University of Guelph; 1984.

Hernández S., R. (2012). Tipificación del ganado criollo mexicano de los Estados de Chihuahua, Baja California, Guerrero, Oaxaca, Puebla y Nayarit. Chihuahua, Chih. México. 52 p.

Hernández, A., P. Cervantes, V. M. Salinas, R. García, A. Tejeda, F. Gallardo, y J. L. Álvarez. (2007). Respuesta al estrés por calor en la vaca Criollo Lechero Tropical bajo un sistema de doble propósito en México. *Revista de Salud Animal*, 29(2): 85-90.

Hiendleder S, Lewalski H, Janke A. Complete mitochondrial genomes of *Bos taurus* and *Bos indicus* provide new insights into intra-species variation, taxonomy and domestication. *Cytogenet Genome Res* 120: 150-157

Huson HJ, Kim ES, Godfrey RW, Olson TA, McClure MC, Chase CC, Rizzi R, O'Brien AMP, Van Tassell P, Garcia JF, Sonstegard TS. Genomewide association study and ancestral origins of the slickhair coat in tropically adapted cattle. *Frontiers in genetics* 2014;( 5): 101-112

Hutchinson LJ. Economic Impact of Paratuberculosis. *Vet. Clin. North Amer. Food. Anim. Pract* 1996; (12): 373-381.

Interbull Technical Workshop and Industry Meeting <http://interbull.org/index>. 2015.

Juárez MVM, Núñez DR, Ramírez VR, Saavedra LJ. Resumen de evaluaciones genéticas de ganado Jersey 2010. Universidad Autónoma Chapingo, Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Jersey de Registro, CONARGEN, 2013. Consultado en septiembre de 2015. Disponible en: <http://www.conargen.mx/index.php/asociaciones/bovinos-leche>.

- Lush JL. Animal breeding plans. 1st edition. USA, Iowa State College Press; 1956.
- M.C.S. Oliveira, M.M. Alencar, A.C.S. Chagas, R. Giglioti, H.N. Oliveira. Gastrointestinal nematode infection in beef cattle of different genetic groups in Brazil.
- Machado MA, Azevedo AL, Teodoro RL, Pires MA, Peixoto MG, de Freitas C, Prata MC, Furlong J, da Silva MV, Guimarães SE, Regitano. Genome wide scan for quantitative trait loci affecting tick resistance in cattle (*Bos taurus* x *Bos indicus*). BMC Genomics 2010;11:280
- Mäntysaari E, Liu Z, VanRaden P. Validation test for genomic evaluations. Interbull Bulletin, 2010;41:17-22.
- Martínez RCP. 2015. Estimación de la diversidad genética mediante marcadores SNP en bovino Criollo Coreño (*B. Taurus*). Tesis licenciatura. CUCBA-Universidad de Guadalajara.
- Martínez VG, Borrayo ZA, Montañó BM, Bustamante GJJ, Palacios FJA, Vega MVE, Ríos UA. 2012. Producción de leche de vacas Criollo, Guzerat y sus cruzas recíprocas F1 y su relación con el peso al destete de las crías. Rev Mex Cien Pecu. 3(4):501-514.
- Martínez VG, Bustamante GJJ, Palacios FJA, Montañó BM. 2006a. Efectos raciales y heterosis materna Criollo-Guzerat para crecimiento posdestete y características de la canal. Téc Pecu Méx;44(1):107-118.
- Martínez VG, Montañó BM and Palacios FJA. 2006b. Breed effects and individual heterosis for pregnancy, calving and weaning rates in Criollo, Guzerat and F1 cows. 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production Belo Horizonte, MG, Brazil p.p. 1-4.
- Martínez-Tinajero, J. J., J. F. Aguirre-Medina, G. Martínez-Priego, y G. Torres-Hernández. (2006). Comportamiento productivo y reproductivo de tres genotipos bovinos en la región del Soconusco, Chiapas, México. Zootecnia Tropical, 24(2): 109-120.
- McTavisha EJ, Deckerb JE, Schnabelb RD, Taylorb JF, Hillisa DM. New World cattle show ancestry from multiple independent domestication events. PNAS | www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1303367110
- Meuwissen THE, Hayes BJ, Goddard ME. Prediction of total genetic value using genome wide dense marker maps. Genetics, 2001;157:1819-1829.
- Meza-Nieto, M. A., A. F. González-Córdova, C. M. Becerril-Pérez, F. J. Ruíz-López, P. Díaz-Rivera, y B. Vallejo-Cordoba. (2010). Polimorfismo genético de la  $\kappa$ -lactoglobulina en la leche de vacas Holstein y Criollo Lechero Tropical. Agrociencia, 44: 531-539.
- Meza-Nieto, M. A., A. F. González-Córdova, C. M. Becerril-Pérez, A. Rosendo-Ponce, P. Díaz-Rivera, F. J. Ruíz-López, y B. Vallejo-Cordoba. (2012). Relación de las variantes A y B de la  $\kappa$ -lactoglobulina con la producción y composición de la leche de vacas Holstein y Criollo Lechero Tropical. Agrociencia, 46: 15-22.
- Miur B, Van Doormaal B, Kistemarker G. International Genomic Cooperation – North American Perspective. Interbull, 2010.
- Muñoz C. Y., Parra G. B., Sifuentes A. R Martínez J. G., Bustamante A. L., Vera W. A., Xochitl F. R. 2012. Indicadores genómicos y fenotípicos para calidad de la carne en bovinos Charolais de México. Rev Colom Cienc Pecu vol.25 no.2.
- Pant SD, Verschoor CP, Schenkel FS, You Q, Kelton DF, Karrow NA. Bovine CLEC7A genetic variants and their association with seropositivity in John's disease ELISA. Gene 2014;537(2): 3027

Paredes-Sánchez FA, Sifuentes-Rincón AM, Segura Cabrera A, García Pérez CA, Parra Bracamonte GM y Ambriz Morales P. Associations of SNPs located at candidate genes to bovine growth traits, prioritized with an interaction networks construction approach. *BMC Genetics* 2015, 16:91

Perezgrovas, R., D. Vázquez, G. Rodríguez, y D. Galdámez. (2011). Aproximación fenotípica a la diversidad de los bovinos Criollos en la región central montañosa de Chiapas, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 1: 384-387.

Porto Neto LR, Bunch RJ, Harrison BE, Barendse W. DNA variation in the gene ELTD1 is associated with tick burden in cattle. *Journal: Anim Genet* 2011; 42(1): 505 Porto Neto LR, Jonsson NN, Ingham A, Bunch RJ, Harrison BE, Barendse W. The RIPK2 gene: a positional candidate for tick burden supported by genetic associations in cattle and immunological response of knockout mouse. *Immunogenetics*. 2012; 64(5):37988.

PortoNeto LR, Reverter A, Prayaga KC, Chan EKF, Johnston DJ, Hawken RJ. The genetic architecture of climatic adaptation of tropical cattle. *PloS One* 2014; 9(11), e113284.

Reese JT, Childers CP, Sundaram JP, Dickens CM, Childs KL, Vile DC, Elisk CG. Bovine Genome Database: supporting community annotation and analysis of the *Bos taurus* genome. *BMC Genomics* 2010, 11:645

Reid SA, Husein A, Copeman DB. Evaluation and improvement of parasitological tests for *Trypanosoma evansi* infection. *Vet. Parasitol* 2001; 102:291–297.

Rivera U. 2001. Edad a primer parto e intervalo inicio de empadre-parto de vacas Criollo, Guzerat y sus cruizas recíprocas, y comportamiento predestete de sus crías. Tesis de Maestría. UNAM.

Rosendo-Ponce, A., y C. M. Becerril-Pérez. (2015). Avance en el conocimiento del bovino Criollo Lechero Tropical de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5):233-243.

Rubio M. S., Braña D. V., Méndez R. M., Delgado E. S. 2013. Composición de la Carne Mexicana. Folleto Técnico No. 27. ISBN: 978-607-37-0094-8

Ruiz LFJ, García RA, Moreno RE. ¿Qué Toro? Evaluación genética semestral de toros y vacas Holstein para producción de leche, conformación y longevidad. Estudio No. 49, Agosto de 2014. INIFAP. Querétaro, México. 188 pp.

Sartori, R., Barros CM. Reproductive cycles in *Bos indicus* cattle *Animal Reproduction Science*, 124:3:244 – 250

Schaeffer LR. Strategy for applying genome-wide selection in dairy cattle. *J Anim Breed Genet*, 2006;123:218-223.

Sevane N., Levéziel H., Nute G.R., Sañudo C., Valentini A., Williams J. Dunner S. and Consortium G. 2014. Phenotypic and genotypic background underlying variations in fatty acid composition and sensory parameters in European bovine breeds. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 5:20.

Sifuentes Rincón AM, Puentes Montiel H, Moreno Medina VR, De la Rosa Reyna XF y J Rosales Alday.(2007). “Frecuencia del alelo Q204X del gen *Miostatina* en hatos de Ganado del Noreste de México”. *Técnica Pecuaria en México* 45(1):85-92.

Simianer H., S. B. Marti, J. Gibson, O. Hanotte y J. E. O. Rege. 2003. An approach to the optimal allocation of conservation funds to minimize loss of genetic diversity between livestock breeds. *Ecological Economics* 45: 377-392.

Sørensen LP, Madsen P, Mark T, Lund MS. Genetic parameters for pathogen-specific mastitis resistance in Danish Holstein cattle. *Anim* 2009;3:647-656.

Stothard P, Choi JW, Basu U, Sumner-Thomson JM, Meng Y, Liao X and Moore SS Whole genome resequencing of Black Angus and Holstein cattle for SNP and CNV discovery BMC Genomics 2011, 12:559.

Strucken EM, Lee SH, Lee HK, Song KD, Gibson JP, Gondro C. How many markers are enough? Factors influencing parentage testing in different livestock populations. J Anim Breed Genet. 2015

The Bovine Genome Sequencing and Analysis Consortium, 2009.

The FAANG Consortium. Coordinated International action to accelerate genome-to-phenome with FAANG. The functional annotation of Animal Genomes Project. Genome Biology (2015) 16:57

Valencia PM, Montaldo HH, Ruiz LFJ. Parámetros genéticos para características de conformación, habilidad de permanencia y producción de leche en ganado Holstein en México. Tec Pecu Mex, 2008;46(3):235-248.

Van Eenennaam AL, Li J, Thallman RM, Quaas RL, Dikeman ME, Gill CA, et al. Validation of comercial DNA test for quantitative beef quality traits. J Anim Sci 2007; (85): 891-900.

Van Tassell CP, Cole JB. Moving from the BovineSNP50 to higher- and lower-density SNP panels. 9th WCGALP, 2010. Leipzig, Germany.

VanRaden PM, Van Tassell CP, Wiggans GR, Sonstegard TS, Schanabel RD, Schenkel F. J Dairy Sci, 2009;92:16-24.

Weitzman M. L. 1992. On diversity. Quarterly Journal of Economics. 107:363-405. Citado por Boettcher, P. J., M. Tixier-Boichard, M. A. Toro, H. Simianer, H. Eding, G. Gandini, S. Joost, D. Garcia, L. Colli, P. Ajmone-Maras and the GLOBALDIV Consortium. 2010.

Wiggans GR, VanRaden PM, Cooper TA. The genomic evaluation system in the United States: Past, present, future. J Dairy Sci, 2011;94:3202-3211.

X.F. De la Rosa Reyna, H.M. Montoya, V.V. Castrellón, A.M.S. Rincón, M.P. Bracamonte and W.A. Vera. Polymorphisms in the IGF1 gene and their effect on growth traits in Mexican beef cattle. 2010. Genetics and Molecular Research 9 (2): 875-883.

Zárate-Martínez, J. P., J. A. Ramírez-Godínez, y F. A. Rodríguez-Almeida. (2010). Comportamiento reproductivo de vacas Criollas con amamantamiento restringido y sincronización del estro. Agronomía Mesoamericana, 21(1): 121-130.

# CAPÍTULO V

## EFICIENCIA REPRODUCTIVA DE LOS BOVINOS EN EL TRÓPICO

Héctor Raymundo Vera Ávila

Alejandro Villa Godoy

Héctor Jiménez Severiano

Horacio Álvarez Gallardo

José Fernando De La Torre Sánchez

Carlos Guillermo Gutiérrez Aguilar

Horacio León Velasco

Horacio Ruiz Hernández

Alfonso Ruiz Moreno

Fernanda González Gómez

Rubén Santos Echeverría

Juan Heberth Hernández-Medrano

Carlos Guillermo Gutiérrez Aguilar

### V.1 PARADIGMAS Y RETOS

Ante un escenario que históricamente ha sido el de crecimiento exponencial de la población humana, la tendencia a través de los siglos ha sido la de intensificar los sistemas de producción de alimentos de origen vegetal y animal. Particularmente durante el siglo XX, la intensificación en los sistemas agropecuarios de producción representó un cambio de paradigma de los sistemas tradicionales de producción, basados primordialmente en el manejo de los recursos naturales y de los servicios de ecosistemas, a la aplicación de tecnologías basadas en el uso de productos químicos, biológicos, mecánicos y de ingeniería para incrementar la producción. Siguiendo el mismo modelo que revolucionó la industria, la intensificación en los sistemas agropecuarios de producción implicó el desarrollo y la adopción de tecnologías que promovieron la mecanización y estandarización, pero limitaron el uso de mano de obra. Con el paradigma del siglo XX se logró incrementar enormemente la productividad mediante el uso de equipo agrícola y pecuario, maquinarias cuya energía se suministra con derivados del petróleo

o electricidad, elevada producción mediante variedades de plantas y animales seleccionadas para dicho fin, uso de irrigación y una creciente intensificación del uso de capital.

En el presente siglo dicho paradigma continúa, sin embargo, cada vez se generan más evidencias de los efectos negativos de la intensificación de los sistemas agropecuarios, los cuales pueden comprometer el potencial productivo futuro de los mismos. Entre dichos efectos, llamados “externalidades negativas”, se pueden citar: degradación y contaminación del suelo, salinización de tierras irrigadas, sobre-explotación de mantos acuíferos, aumento creciente de la resistencia de agentes biológicos nocivos, contaminación de los productos de origen pecuario con fármacos de varios tipos (antibióticos, desinfectantes, hormonas, entre otros), erosión de la biodiversidad vegetal y animal, así como daño al ambiente natural a través de la deforestación, emisión de gases tipo invernadero y contaminación de cuerpos de agua.

Aunque es innegable que la necesidad de producción de alimentos continuará en aumento, debido a las externalidades negativas y a la creciente preocupación de la sociedad por estos efectos nocivos de los sistemas intensivos de producción de alimentos, es imperante el cambio de paradigma hacia sistemas que permitan una elevada productividad sin las externalidades negativas de la intensificación.

La ganadería tropical en México se desarrolla bajo condiciones muy particulares que, por una parte favorecen a la actividad y por otra le imponen una serie de retos, incluyendo en esto al proceso reproductivo. Por el lado positivo se cuenta con un amplio recurso forrajero, una firme cultura ganadera, genotipos con un buen nivel de adaptación al ambiente, y en algunas regiones un buen nivel de organización e infraestructura de soporte a la producción.

En el caso de las limitantes, las más importantes se asocian con el clima, específicamente con la temperatura y humedad elevadas y sus consecuencias negativas directas e indirectas sobre los animales; estrés climático y sus efectos negativos directos sobre la fisiología de procesos productivos, así como efectos negativos indirectos por la alta proliferación e infestación con ecto y endoparásitos, aunado a la alta incidencia de las enfermedades transmitidas por estos. También en el aspecto limitativo y en relación a los sistemas de producción, en términos generales existe dificultad para proporcionar una adecuada cantidad de nutrientes de acuerdo a los diferentes estados fisiológicos de los animales, particularmente para aquellos con una mayor demanda metabólica, como son las fases de crecimiento acelerado, último tercio de la gestación y primer tercio de la lactación, por lo que no es infrecuente la subnutrición afectando el desempeño reproductivo de los animales. Las elevadas demandas de nutrientes en las etapas fisiológicas citadas se conjugan con elementos característicos de los climas tropicales, tales como forrajes con baja densidad de algunos nutrientes (proteínas y compuestos proveedores de energía), precio elevado y disponibilidad limitada de complementos energéticos y proteicos, así como deficiencias o excesos de minerales en los forrajes.

La adaptación al ambiente de los genotipos utilizados y mayoritariamente disponibles en la ganadería tropical (*Bos taurus indicus* y sus cruizas con *Bos taurus taurus*), tiene desde luego un componente positivo, pero así mismo implica una desventaja para la productividad. En el aspecto reproductivo y comparado con los genotipos *taurus taurus* explotados en climas templados, en la

ganadería tropical los *taurus indicus* puros o los que tienen su influencia, presentan en general y como parte de un componente genético/fisiológico independiente del manejo, un desempeño reproductivo menos eficiente. Por otro lado, aunque en los genotipos *taurus taurus* se cuenta con algunos semi-adaptados al ambiente tropical, existe en estos una mayor sensibilidad que en los *taurus indicus* y sus cruizas a los efectos negativos directos e indirectos del clima, por lo que se requiere la aplicación de estrategias para mitigarlos, si se pretende un desempeño reproductivo adecuado.

El hecho de que la ganadería tropical se lleve a cabo bajo condiciones no intensivas de manera mayoritaria, favorece la posibilidad de desarrollar sistemas de producción más amigables con el medio ambiente, y por lo tanto con una mejor aceptación social que los sistemas típicos de otras regiones, donde predomina la aplicación de tecnologías y esquemas de manejo cuyo propósito es intensificar la producción, los que tradicionalmente se han desarrollado sin tomar en cuenta sus efectos nocivos sobre el medio ambiente natural. Desde luego que lo señalado como ventaja de los sistemas tropicales, también involucra como reto la generación o adaptación de métodos de producción que se ajusten al concepto de producción "limpia, verde y ética." En el aspecto de manejo reproductivo, lo anterior implica el desarrollo preferencial de estrategias de manejo en las que se limite, por ejemplo, el uso de productos hormonales, y que más bien se basen en conceptos novedosos de selección por marcadores moleculares, que permitan reconocer características productivas deseables en los animales, desarrollo del concepto de nutrición funcional hasta un estado que permita su aplicación en el trópico, métodos de bioestimulación para realzar o mejorar las cualidades productivas y reproductivas de los animales, entre otros de esta índole.

Un aspecto de orden no biológico/geográfico que es también característico de la ganadería tropical en México, es la limitada difusión y adopción de las tecnologías de manejo desarrolladas ex profeso para hacer más eficientes sus procesos productivos, entre estos el de la reproducción. El problema anterior, se deriva sobre todo del insuficiente grado de cobertura y continuidad en la aplicación de programas de transferencia de tecnología, pero también se asocia a un deficiente acopio y sistematización de las tecnologías disponibles para su posterior difusión a asesores técnicos y productores. Aunado al bajo uso de tecnologías, en la ganadería tropical no existe una cultura sólida de registro de información para evaluar el

desempeño de los procesos productivos. Esta falta de información, imposibilita el identificar los puntos críticos de ineficiencia dentro de cada proceso, para aplicar entonces de manera estratégica los recursos disponibles y así mejorar la operatividad de los sistemas. Si bien el uso eficiente de los recursos disponibles es deseable en cualquier sistema de producción, la condición de recursos limitados que comúnmente encontramos en la ganadería tropical o la ventaja de su cuidado en aras de hacer una producción “limpia, verde y ética,” hacen prioritario su uso no solo eficiente sino estratégico. En los rubros anteriores, la utilización creativa de las nuevas tecnologías de comunicación será a su vez prioritaria.

Dentro de las limitaciones que se tienen para hacer una valoración adecuada, se estima que el desempeño reproductivo en la ganadería tropical se encuentra en general a un 50 % de su potencial, esto si se considera el porcentaje de vientres paridos por año.

A partir de la discusión/reflexión de un panel de especialistas en reproducción de ganado tropical, inducida como parte de las actividades de estructuración de la REDGATRO, se propusieron como problemas principales que afectan el desempeño reproductivo en la ganadería tropical a:

- Falta de criterios de selección para reemplazos
- Desconocimiento de patrones de desarrollo sexual en hembras y machos
- Edad elevada a pubertad y primer parto
- Anestro posparto prolongado
- Dificultad para mantener nutrición adecuada durante todas las etapas fisiológicas;
- Desconocimiento de la tasa real de pérdidas embrionarias
- No se aplican programas de manejo reproductivo de sementales
- Limitada aplicación de métodos para control de estro/ovulación/servicio
- Deficiente control de enfermedades infecciosas que afectan la reproducción
- Limitada obtención y sistematización de información asociada a desempeño reproductivo
- Valores de indicadores de desempeño reproductivo extrapolados de sistemas

de producción en climas templados y no necesariamente adecuados a ganadería tropical

Para abordar esta problemática a su vez se propuso considerar estrategias de corto/mediano plazo asociadas con la transferencia de tecnología y estrategias de mediano/largo plazo relacionadas con el acopio/análisis y uso estratégico de información de desempeño y con el establecimiento de líneas estratégicas de investigación.

En el caso de las líneas estratégicas de investigación, se determinó que éstas deberían centrarse en los aspectos biológicos que representan un problema para la eficiencia reproductiva y se establecieron las siguientes:

- Estudio de interacciones nutricionales-reproductivas para el desarrollo de estrategias de nutrición funcional orientadas a mejorar la eficiencia reproductiva
- Estudios genómicos y de epigenética relacionados con procesos y desempeño reproductivos en machos y hembras
- Estudios de fisiología ovárica y su control endógeno y exógeno para mejora de la eficiencia reproductiva
- Estudio de factores fisiológicos y ambientales asociados con la sobrevivencia embrionaria
- Estudio de factores fisiológicos y ambientales que influyen sobre la conducta sexual del macho e identificación de marcadores de fertilidad

## V.2 CONOCIMIENTO DE FRONTERA

### V.2.1 FISIOLÓGÍA REPRODUCTIVA EN GENOTIPOS TROPICALES

Un aspecto importante que se debe considerar con respecto a los genotipos indicus utilizados en la ganadería tropical, es el hecho de que representan una subespecie diferente a los genotipos taurus y no solamente razas diferentes.

Por el lado positivo y asociado con lo anterior, los animales indicus poseen varias características de utilidad para adaptarse al medio ambiente tropical, como es la mayor capacidad para termorregularse, que asociada a una menor tasa metabólica, los hace más resistentes a las temperaturas ambientales altas del trópico. Asimismo, son más rústicos y resistentes a los endo y ectoparásitos comunes en las zonas tropicales, y debido a sus piernas largas y

pezuñas fuertes son buenos para pastorear incluso en terrenos difíciles.

En relación a desempeño reproductivo, considerando los criterios de eficiencia que se aplican en los genotipos *taurus* en climas templados, es muy común que en los genotipos *indicus* no se alcancen los valores establecidos como óptimos. Esta condición, en parte se debe a diferencias en la fisiología de algunos procesos reproductivos en los genotipos *indicus*, así como a una mayor sensibilidad al efecto negativo sobre la reproducción de factores como la condición nutricional y la lactación. En contraste con lo anterior, existen diferencias fisiológicas a favor de los genotipos *indicus*, que los hacen más eficientes como donadores in vivo de ovocitos para la producción in vitro de embriones, o los hacen más resistentes a los efectos negativos de las elevadas temperaturas ambientales sobre la sobrevivencia embrionaria. Asimismo, cabe mencionar que las diferencias entre *indicus* y *taurus*, son más bien en grado de intensidad o tiempo de presentación de los eventos reproductivos, y no implican cambios en los componentes básicos de su regulación.

Dentro del contexto anterior, resulta importante y de utilidad conocer las diferencias fisiológicas a favor y en contra de la eficiencia reproductiva de los genotipos *indicus*. A partir de esto y de acuerdo al caso, se pueden establecer criterios más adecuados de evaluación del desempeño reproductivo para genotipos *indicus* o diseñar estrategias de manejo para cumplir con los criterios establecidos para los genotipos *taurus*.

A continuación, se describen las diferencias más relevantes en la fisiología reproductiva entre genotipos *Bos taurus indicus* y *Bos taurus taurus*, indicando a su vez si estas diferencias pueden afectar el desempeño zootécnico.

### V.2.1.1 DIFERENCIAS EN LA FISIOLÓGÍA DE PROCESOS REPRODUCTIVOS EN HEMBRAS

#### Edad a pubertad

En general, las razas *indicus* inician la pubertad y alcanzan la capacidad para reproducirse a una edad más tardía que las razas *taurus* (18 a 22 meses de edad en *indicus* y 13 a 15 meses en razas productoras de carne *taurus*). Por lo anterior, en las razas *indicus* resulta en extremo difícil alcanzar la meta de 24 meses de edad a primer parto, que es la establecida como óptima para razas productoras de carne *taurus*.

La causa de esta maduración sexual tardía, se debe fundamentalmente a una interacción de tipo genético ambiental (potencial genético y nivel de alimentación), la cual determina que las tasas de crecimiento en los animales jóvenes no sean muy altas, y por lo tanto hay un retraso para alcanzar el desarrollo corporal umbral para iniciar la pubertad. Por otra parte, las becerras *indicus* aparentemente necesitan alcanzar una mayor proporción de desarrollo corporal con respecto a su condición adulta y entonces también mayor tiempo para iniciar este proceso.

Independientemente de lo anterior, la tasa de heredabilidad para edad a pubertad ha mostrado ser alta en las hembras *indicus*. Por lo tanto, la respuesta a selección por este criterio sería buena y deseable de incluir en los programas de mejoramiento genético.

#### Duración de la gestación

La gestación en las razas *indicus* es en promedio 10 días más prolongada que en las razas *taurus*, esto con la excepción de algunas razas pequeñas como las Cebú Africana y Cebú Etiope, las cuales por su baja productividad no se consideran adecuadas como productoras de carne.

Esta diferencia impone la necesidad de cargar a su vez a las hembras *indicus* 10 días antes que a las *taurus*, si es que se quiere lograr el valor óptimo considerado para intervalo entre partos en *taurus* que es de 12 meses. Aunque la diferencia anterior es pequeña, se suma a la mayor probabilidad de tener un anestro post parto prolongado en las razas *indicus* y así hacer más difícil alcanzar la meta ideal de intervalo entre partos.

#### Duración del anestro post parto

En las razas *indicus* es factible tener una alta proporción de vientres ciclando a un tiempo postparto considerado como adecuado para razas *taurus* (60 a 65 días post parto), aunque esto resulta bastante difícil. Lo anterior, en gran medida asociado a la mayor susceptibilidad de las razas *indicus* al efecto detrimental de la subnutrición y el amamantamiento, que de manera interactiva pueden prolongar severamente el anestro post parto. Sin embargo, un buen manejo de la nutrición pre y post parto, así como intervenciones para disminuir el efecto del amamantamiento (destetes temporales, lactación controlada), pueden permitir que la duración del anestro post parto no represente un problema mayor en los hatos de hembras *indicus*.

## Intensidad y duración del estro

Cualitativa y cuantitativamente, el estro es menos manifiesto en las hembras de razas *indicus* comparadas con las de razas *taurus*. El estro es más corto en las hembras *indicus*, con una menor proporción de eventos de aceptación de monta homosexual (signo primario o definitivo de estro) y mayor proporción de signos secundarios como intentos de monta a otras hembras, inquietud y secreción vaginal de moco. Asimismo, la proporción de estros que se presentan durante la noche es mayor en las hembras *indicus*.

El comportamiento de estro en las hembras bovinas, es provocado por un incremento importante en las concentraciones sanguíneas de estrógenos que se mantiene por varias horas, y que se deriva de la gran actividad estrogénica que mantiene el folículo preovulatorio. Este “pico preovulatorio” de estrógenos es también el responsable de que se secrete una gran cantidad de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y hormona luteinizante (LH), produciéndose entonces el “pico preovulatorio” de LH que a su vez es el responsable de la ovulación del folículo preovulatorio.

La menor intensidad y duración del estro en las hembras *indicus*, está asociada a una menor sensibilidad a los estrógenos como inductores del comportamiento de estro. Esa menor sensibilidad, a su vez se ve reflejada como un retraso en la manifestación del estro con respecto al pico preovulatorio de estrógenos.

La condición anterior, puede representar un problema y afectar la fertilidad en hatos en los que el servicio se realiza mediante inseminación artificial, ya que es más difícil lograr una buena eficiencia y precisión en la detección de estros. Sin embargo, esto se puede contrarrestar con un buen programa de detección de estros; utilizando métodos auxiliares a la observación directa para la detección de estros y aumentando la frecuencia/dispersión de los periodos en que se realiza. También puede ayudar el uso de programas de sincronización del estro y la ovulación.

## Capacidad de secreción de LH hipofisiaria

La secreción de LH estimulada por GnRH o estrógenos resulta menor en las hembras *indicus*, lo cual a su vez provoca que el pico preovulatorio de LH sea menor. Esta respuesta parece estar relacionada con que el “pool” liberable de LH es

menor en las hembras *indicus*, sin embargo, no se ha determinado con claridad si esto resulta detrimental para la fertilidad.

## Intervalo estro a ovulación

Las hembras *indicus* tardan 8 a 10 h menos que las *taurus* para presentar la ovulación después del inicio del estro. Como ya se mencionó, el comportamiento de estro es inducido por el pico preovulatorio de estrógenos que produce el folículo preovulatorio y asimismo el pico de estrógenos estimula la secreción preovulatoria de LH y a través de eso la ovulación. En el caso de las hembras *indicus*, la menor sensibilidad a los estrógenos hace que se retrase la presentación del estro con respecto al pico preovulatorio de estrógenos. Sin embargo, como no hay un retraso entre el pico preovulatorio de estrógenos y el pico preovulatorio de LH, entonces se reduce el tiempo entre el estro y la ovulación. En términos zootécnicos, este fenómeno puede causar un problema de fertilidad en los hatos en que se usa la inseminación artificial, ya que aumenta la posibilidad de dar servicios tardíos con respecto a la ovulación, sobre todo cuando la eficiencia y precisión del programa de detección de estros no es adecuada.

## Función lútea

Las hembras de razas *indicus* presentan cuerpos lúteos más pequeños y que producen y contienen una menor cantidad de progesterona. Por esta razón, las concentraciones sanguíneas de esta hormona durante la fase lútea son aproximadamente 20 % menores. A diferencia de lo que ocurre con los cuerpos lúteos, el peso del estroma ovárico es mayor en las hembras *indicus*. Los factores anteriores, contribuyen a que sea más difícil detectar los cuerpos lúteos por palpación rectal en las vacas y vaquillas *indicus*. Aparte de eso, no se han establecido con claridad las posibles repercusiones sobre la fertilidad derivadas de esta menor actividad lútea.

## Desarrollo folicular

La última etapa de desarrollo folicular en los bovinos, que involucra el crecimiento de folículos antrales pequeños (2-3 mm de diámetro) hasta folículos antrales grandes (11-15 mm), se da en forma de ondas u olas que duran de 7 a 8 días. Estas olas se inician con el reclutamiento de un grupo de folículos antrales pequeños que inician una fase de crecimiento rápida. A la mitad de la ola, generalmente uno solo de los folículos es seleccionado para convertirse en dominante, e impedir el desarrollo de los demás. El folículo

dominante puede o no ser ovulatorio dependiendo de cuando adquiere la condición de dominancia; es ovulatorio sólo si es dominante al final o fuera de la fase lútea.

En las hembras indicus post puberales, las olas de desarrollo folicular duran un poco menos que en las *taurus* y en general presentan un mayor número de olas durante el ciclo estral. Asimismo, los folículos dominantes anovulatorios y ovulatorios alcanzan un menor tamaño en los animales indicus. Adicionalmente, la cantidad de folículos antrales medianos y pequeños presentes en los ovarios de las hembras indicus es normalmente mayor, lo cual favorece la obtención de ovocitos que eventualmente pueden destinarse a técnicas in vitro de reproducción.

### Estacionalidad reproductiva

En general, los bovinos domésticos se consideran como una especie poliéstrica continua que no presenta estacionalidad. Sin embargo, existen evidencias de que en la subespecie indicus se presenta un cierto grado de estacionalidad reproductiva. Esta estacionalidad se manifiesta como una menor eficiencia reproductiva durante el invierno; aumenta la proporción de hembras en anestro, con ciclos estrales irregulares o con estros anovulatorios y disminuye la fertilidad, afectándose a su vez la función lútea.

En el caso de hembras *taurus* mantenidas en el trópico, no se observa un comportamiento estacional como tal, aunque sí una disminución de la fertilidad durante los meses más calurosos. Durante el periodo de mayor estrés por calor ambiental, las hembras *indicus* presentan un comportamiento reproductivo mucho más eficiente que las hembras *taurus*. Esta condición, tiene mucho que ver con que el desarrollo embrionario pre implantación es menos afectado por el estrés de temperatura ambiental en los animales indicus; esta termotolerancia parece expresarse a nivel celular y tener un componente genético, lo cual deja abierta la posibilidad de identificar genes de termotolerancia para su eventual uso mediante estrategias genómicas.

Por otra parte y también en el terreno de las características positivas, las hembras indicus presentan una mayor longevidad que las *taurus* y además una muy buena habilidad materna. Importante también mencionar que las cruas de hembras indicus con *taurus* tienden a presentar una fisiología reproductiva más parecida a las hembras *taurus*, y en ocasiones por consecuencia

de la heterosis, mejor eficiencia reproductiva en climas tropicales que sus progenitores *taurus* e *indicus*.

## V.2.1.2 DIFERENCIAS EN LA FISIOLÓGÍA DE PROCESOS REPRODUCTIVOS EN MACHOS

La reproducción del ganado, ya sea en forma natural o artificial es el prerequisite indispensable para la producción de las especies. En las regiones tropicales la forma predominante para la reproducción de los bovinos es la monta natural. Bajo estas condiciones, el desempeño reproductivo depende de una serie de factores inherentes no sólo a la hembra, sino también al macho, al ambiente y a las diversas interacciones de estos. Bajo condiciones de campo, el desempeño reproductivo de los toros en el empadre, depende de una serie de interacciones múltiples, que incluyen la relación numérica toros:vacas, la interacción con el hato de cría (vacas y otros toros), la duración del empadre, la topografía de los potreros, la condiciones ambientales, el estado nutricional del hato de cría, la fertilidad individual de los toros, y todos los parámetros de fertilidad por parte de las vacas. Los toros de los genotipos *indicus* están mejor adaptados a las condiciones ambientales en los trópicos que los toros de los genotipos *taurus*, y son ampliamente utilizados, ya sea en forma pura o en la generación de nuevos genotipos; sin embargo, se ha reportado que tienen algunas características reproductivas que los distinguen de los animales *taurus*, las cuales deben ser consideradas para garantizar el mejor uso de estos animales.

### Fisiología del eje endocrino reproductivo

Los procesos reproductivos de los toros son controlados por hormonas. La función testicular está controlada por la acción de las gonadotropinas hipofisarias, LH y FSH, las cuales a su vez, son sintetizadas y liberadas por la acción de la hormona hipotalámica GnRH. La estimulación hormonal de los testículos determina la producción de espermatozoides y la producción de testosterona, la cual estimula la libido y la conducta sexual. Algunos estudios han reportado que los toros indicus jóvenes tienen menor concentración circulante de testosterona, que los *taurus*; esta situación podría deberse al menor desarrollo testicular en los toros *indicus* en edades tempranas. Los toros secretan LH en forma de pulsos, en respuesta a la secreción, también pulsátil, de GnRH; al comparar los perfiles de LH en toros adultos, se observa que la frecuencia

de pulsos es similar en los toros *indicus* y *taurus*, pero la concentración basal y el área bajo a curva es menor en los primeros. La frecuencia de pulsos de testosterona es similar entre ambos genotipos. Al evaluar la capacidad de respuesta de la hipófisis al desafío con GnRH, en términos de secreción de LH, se ha observado menor capacidad de respuesta de los toros *indicus*; sin embargo, estas diferencias no se observaron en la respuesta testicular, pues tanto la altura del pico, como el área bajo la curva de respuesta de testosterona fueron similares en ambos genotipos.

## **Función testicular**

Los testículos realizan dos funciones principales: la función endocrina, dada principalmente por la producción de testosterona, hormona esteroide producida por las células de Leydig localizadas en el intersticio testicular. La segunda función, y quizá la más importante, es la producción de espermatozoides (espermatogénesis), la cual se realiza dentro de los túbulos seminíferos; la producción espermática de los sementales depende de la eficiencia de este proceso. Los sementales *indicus* jóvenes tienen testículos más pequeños y menor producción espermática y de menor calidad que los *taurus*; esto se debe principalmente a que la tasa de desarrollo es más lenta en los primeros, ya que en la edad adulta las diferencias son menores o no existen. En poblaciones seleccionadas, es decir, sementales adultos de Centros de inseminación artificial, no se han observado diferencias en el tamaño testicular entre estos grupos raciales; respecto a la calidad seminal, tampoco hay diferencias, inclusive en algunos estudios se ha observado que los toros *indicus* adultos tienen mayor concentración espermática y mayor número de espermatozoides totales y viables. Estos datos no son generalizados, ya que dependen del genotipo específico, pues se han detectado diferencias entre los genotipos dentro de la subespecie *indicus*. En general, la producción espermática de los toros Nelore es mayor que en otros genotipos *indicus*, como Guzerat y Gyr; aparentemente, estas diferencias se deben a que hay menor cantidad de muerte celular y por lo tanto, mayor eficiencia de la espermatogénesis, lo que repercute en mayor producción espermática por gramo de parénquima testicular y mayor producción total. Estas diferencias en la espermatogénesis, aparentemente no afectan la densidad numérica de las células de Sertoli, ni su capacidad para mantener un número determinado de células germinales. Es probable que estas diferencias se deban a la selección genética de

la raza Nelore, pues esta raza es la que ha tenido mayor presión de selección que las otras razas *indicus*, principalmente en Brasil.

Para que la espermatogénesis se realice en forma normal, la temperatura testicular debe estar entre 2 y 6 °C por debajo de la temperatura corporal; por lo tanto, cuando la temperatura testicular se eleva, también aumentan las anormalidades espermáticas y disminuye la calidad del semen, causando diferentes grados de infertilidad. Los testículos tienen diferentes mecanismos para regular su temperatura, los cuales incluyen las características de la piel del escroto, la capacidad de elevar y descender los testículos, dependiendo de la temperatura ambiental, y el arreglo especial que tienen la arteria testicular, rodeada por el plexo pampiniforme; estos forman una estructura llamada cono vascular, localizado en el extremo dorsal de cada testículo, y que mediante mecanismos de contracorriente disipa eficientemente el calor generado en los testículos. Estudios recientes han demostrado que mayor diámetro del cono vascular y menor distancia entre la sangre arterial y venosa se relacionan con mayor porcentaje de espermatozoides normales.

Interesantemente, también se han observado diferencias en la morfología del cono vascular entre toros *indicus* y *taurus*; estas diferencias facilitan la transferencia de calor entre la arteria y las venas testiculares, lo cual confiere mayor resistencia a las altas temperaturas ambientales de los toros *indicus*. Los genotipos *taurus* también son más susceptibles a las temperaturas elevadas; al exponer a toros cruzados (*indicus* x *taurus*) y *taurus* puros a temperaturas elevadas, se observó que en los animales cruzados la disminución de la calidad seminal fue menos severa, ocurrió más tarde y se recuperaron más rápidamente.

## **Desarrollo sexual y pubertad**

La edad a la pubertad es un factor importante que determina la eficiencia productiva del ganado bovino. Edades tempranas a la pubertad reducen el intervalo generacional, con la posibilidad de obtener un mayor avance genético; además, permiten el uso de los sementales a edades más tempranas, ya sea para monta directa o para inseminación artificial. La pubertad es el proceso mediante el cual un toro adquiere la capacidad de reproducirse; este proceso, incluye el desarrollo endocrino, el desarrollo de las gónadas y de los órganos sexuales secundarios, además de la adquisición de la capacidad de monta. Para fines de investigación, es común definir la pubertad en toros, como la edad a la cual se puede obtener un eyaculado

con al menos 50 millones de espermatozoides y 10 % de motilidad progresiva; sin embargo, es necesario entender que esta definición se refiere a un momento muy específico, dentro de todo el proceso de desarrollo sexual, el cual abarca desde el inicio de la espermatogénesis hasta la madurez sexual.

Existen marcadas diferencias entre razas en la edad a la pubertad; consistentemente se ha reportado que los toros de los genotipos *indicus* alcanzan la pubertad a edades considerablemente mayores que aquéllos de los genotipos *taurus*; igualmente, la pubertad se retrasa en toros de genotipos *taurus* adaptados a los trópicos y en *taurus* no adaptados a esas condiciones, en comparación con los genotipos *taurus* en climas templados. De acuerdo a la literatura publicada, la edad a la pubertad en meses de algunos genotipos *indicus* son las siguientes: Brahman 15.9 a 17, Nelore 14.8 a 19.7, Gyr 17 a 19.2, Guzerat 18.2; éstas son considerablemente mayores que las reportadas para los genotipos *taurus*: Angus 10.1, Hereford 9.6 a 11.7, Holstein 9.4 a 10.9, Suizo Pardo 8.7 a 10.2, Simmental 10.6 a 11.4. En términos generales, el patrón de crecimiento testicular y los mecanismos fisiológicos que lo determinan son similares entre genotipos; sin embargo, las características de las curvas de crecimiento testicular tienen marcadas diferencias. El desarrollo es considerablemente más lento en los genotipos *indicus*, de tal forma que a edades similares, la circunferencia escrotal de los toros *indicus* jóvenes es menor que la de los *taurus*; sin embargo, en la edad adulta, las diferencias en tamaño testicular son menores o llegan a desaparecer. Por ejemplo, algunos datos indican que los toros Brahman alcanzan un tamaño testicular similar a los toros Hereford hasta que tienen 35 meses de edad.

Cuando se utiliza el sistema actual para la evaluación de la capacidad reproductiva, propuesto por la “Sociedad Americana de Teriogenología”, los toros *indicus* están en franca desventaja frente a los genotipos *taurus*, debido precisamente a las diferencias en las curvas de desarrollo testicular, y por lo tanto al grado de madurez reproductiva entre genotipos, ya que este sistema ha sido desarrollado con base en la información generada en genotipos *taurus*. Por lo tanto, en condiciones similares y en el mismo rango de edad, los toros *indicus* obtienen menores porcentajes de reproductores satisfactorios; en este sentido, valdría la pena analizar la conveniencia de utilizar un sistema de evaluación modificado cuando se trate de evaluar a toros *indicus*, de tal forma que se ajuste a las características de estas razas. Sin embargo, en el

largo plazo, sería de mayor beneficio incluir en los esquemas de selección genética los resultados de las evaluaciones de la capacidad reproductiva y las mediciones de circunferencia escrotal; en este sentido, algunos estudios indican que al seleccionar toros *indicus* reproductores, incluyendo estas características, se logran efectos muy favorables sobre el tamaño testicular y la edad a la pubertad después de varias generaciones. La respuesta a la selección por circunferencia escrotal es buena, debido a que la heredabilidad de esta característica es entre mediana y alta, lo cual también repercute favorablemente en la producción espermática y en la calidad seminal.

## V.2.2 CIENCIAS ‘ÓMICAS’ EN LA REPRODUCCIÓN ANIMAL

### V.2.2.1 ESTRATEGIAS “ÓMICAS”, ASPECTOS GENERALES

Las ciencias “ómicas” se basan en el dogma central de la biología molecular, el cual se refiere a la expresión de RNA mensajero (ARNm; transcritos) tomando como base la información genética (genoma) presente en cualquier organismo, que luego son traducidos en proteínas (proteoma), que a su vez controlan o participan en procesos metabólicos complejos (metaboloma). Así, basados en cada uno de los componentes de esta ‘cadena’ biológica molecular se identifican a la genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica como las ciencias “ómicas”, principales encargadas de estudiar cada eslabón de la cadena. La investigación basada en estas ciencias no sería posible sin la inclusión de la bioinformática, incluso se menciona que ésta es la ciencia que permite integrar toda la información generada en las ciencias “ómicas”. A la integración de todas las ciencias mencionadas se le conoce como Biología de Sistemas. Ésta, además incluye a las matemáticas aplicadas a la biología, para la elaboración de mapas o modelos biológicos que integran toda la información generada, para darnos un panorama más detallado del metabolismo de una célula, tejido, órgano e incluso organismo completo. Así, en lugar de analizar componentes individuales de una célula u organismo, la biología de sistemas busca analizar los efectos de un tratamiento o enfermedad en todos los componentes simultáneamente, de manera que se puedan evaluar interacciones o respuestas relevantes del sistema completo.

El objetivo del presente apartado será describir las ciencias “ómicas” aplicadas a la reproducción bovina. En general, la información disponible para

bovinos es relativamente escasa en varias de estas ciencias, en especial aquella disponible para ganado en condiciones tropicales. Sin embargo, la genómica es la que mayor uso ha tenido para la producción animal, ya que ha permitido el avance genético a través de la selección basada en varios genes a la vez o selección genómica. A continuación se presentan brevemente las ciencias “ómicas” más relevantes y la aplicación que se les ha dado en la producción animal enfocada a la reproducción.

## Genómica

La genómica se refiere al estudio de la estructura, función e interacciones dentro del genoma. La ciencia genómica nació con la secuenciación del genoma completo de un bacteriófago. Recientemente se ha reportado la secuenciación del genoma completo del bovino, que está formado por cerca de 3 millones de bases, lo que ha permitido la investigación de genes individuales o grupos de genes específicos. Uno de los principales enfoques ha sido la identificación de mutaciones en genes o grupos de genes, para determinar si están asociadas con características productivas de importancia.

La genómica es la ciencia “ómica” más utilizada en especies pecuarias, particularmente para la selección y mejoramiento genético, y se ha hecho a través de la selección asistida por marcadores (SAM) y la selección genómica o de genoma completo (SGC).

En el proceso de identificación de mutaciones y su relación con la expresión fenotípica de características de interés, estas mutaciones pueden ser marcadas a través de polimorfismos conocidos y cuantificables llamados polimorfismos de nucleótidos únicos (SNP por sus siglas en inglés). Estos SNP están asociados a regiones conocidas dentro del genoma, de manera que usando estas “marcas” genéticas, se puede predecir la presencia de genes o regiones completas específicas que pueden ser heredables. Este tipo de selección ha sido posible gracias a la aparición de paneles específicos para ganado (chips) de alta densidad, en los cuales es posible identificar (mapear) desde 55,000 hasta ~800 mil SNP en el genoma completo, usando una muestra única.

Sin embargo, uno de los requisitos de esta metodología es el conocimiento de los efectos de las mutaciones marcadas por SNP sobre la expresión fenotípica, o sea la característica específica, en los animales. Para esto es necesario contar con poblaciones de referencia que permitan realizar las comparaciones con los animales bajo estudio

o selección. La disponibilidad de estas poblaciones ha hecho posible que esta selección pueda ser empleada en ganado bovino lechero, donde poblaciones de Holstein y Jersey, por ejemplo, están disponibles. Sin embargo, poblaciones de referencia para ganado de carne o para ganado de doble propósito aún no están disponibles en un tamaño adecuado para que la herramienta sea usada con mayor frecuencia.

## Transcriptómica

La transcriptómica se enfoca en el estudio de la expresión genética, o sea el estudio de la dinámica de producción de ARNm, lo que ayuda a explorar la expresión o supresión de genes como base de la regulación de síntesis de proteínas específicas. La transcripción de genes en ARNm es el primer paso en la síntesis de proteínas, que a su vez pueden estar ligadas a la expresión de alguna característica de interés en el animal (fenotipo). El conocimiento de la expresión génica a través de la producción de ARNm, ayuda a entender cómo se determina la expresión de características complejas de interés, e identificar genes candidatos que controlan dichas características.

La tecnología de los microarreglos ha sido una de las más empleadas para la evaluación del transcriptoma en bovinos. Esta tecnología permite la evaluación de la expresión de una gran cantidad de genes en una sola muestra, y ayuda a determinar qué genes se “prenden” o “apagan” comparando dos o más etapas fisiológicas (e.g. lactación, pubertad, entre otras) o tratamientos de interés. Actualmente existen nuevas tecnologías que permiten la medición del transcriptoma de manera más sensible y reproducible, como son las tecnologías de secuenciación de nueva generación aplicadas a la transcriptómica: método de secuenciación de regiones de ARNm, secuenciación de ARN (ARN-seq) y secuenciación de DNA genómico. El método más usado es ARN-seq, ya que permite la secuenciación de la totalidad del ARNm contenido en una muestra. Esta tecnología ayuda a identificar modificaciones post-transcripcionales, efectos epigenéticos e incluso el reconocimiento de polimorfismos de nucleótido único (SNP) que son empleados en la selección genética de animales de producción, incluyendo bovinos. Asimismo esta tecnología ha permitido conocer más a fondo el transcriptoma, lo que puede permitir en un futuro conocer las diversas variaciones en expresión genética debida a modificaciones epigenéticas o post-ranscripcionales que permitan predecir mejor el fenotipo animal.

## Proteómica

La proteómica se enfoca en el estudio de la estructura y función de todas las proteínas (concentración y variedad) sintetizadas a partir del genoma, presentes en una célula, tejido, órgano o individuo en algún momento específico de su vida. A diferencia del genoma, el proteoma es mucho más complejo, debido a que existen varios mecanismos postranscripcionales que pueden modificar a la proteína que se produce a partir de un gen. Se ha reportado que existen cerca de 2,000 genes en el genoma, tanto humano como bovino, que codifican para proteínas encargadas de modificar otras proteínas mediante procesos como segmentación proteolítica, acetilación, glicosilación, metilación, fosforilación, sulfatación o formación de puentes disulfuro. Todas estas modificaciones mediante interacciones proteína-proteína, aunadas a las modificaciones de la expresión genética (microRNA, epigenética, entre otras), hacen que la cantidad y variedad de proteínas presentes en una célula sea mucho mayor que la cantidad de genes presentes en el genoma de la célula. Esto implica que existe una muy baja correlación entre el proteoma y genoma en cualquier célula animal.

A diferencia de las tecnologías disponibles para medir el genoma o el transcriptoma, la medición de las proteínas en una célula aún no es posible de manera rápida y barata. Las tecnologías disponibles, como la espectrometría de masas, pueden medir cerca de 102 a 104 proteínas en un ensayo, lo cual es cerca de 20 a 30 % del proteoma de una célula. A pesar de esto, la proteómica es empleada en la producción animal para detectar proteínas de interés en diversas especies animales.

## Metabólica

El metaboloma se refiere al contenido total de los metabolitos de un organismo, que representan el producto final o parcial de la expresión de genes y proteínas. El metaboloma representa la huella digital de los procesos metabólicos celulares que se llevan a cabo en un tejido u órgano en un momento específico, lo que representa el perfil fisiológico de la célula. El principal problema de la metabólica es que no existe la tecnología o métodos que sean capaces de medir la totalidad de los metabolitos producidos por una célula o tejido. Sin embargo se espera que algunos métodos como HPLC-MS, GC-MS, CE-MS y la resonancia magnética nuclear (NMR) serán capaces de ser desarrollados para medir la cantidad de metabolitos requeridos por la metabólica.

## V.2.2.2 ESTRATEGIAS “ÓMICAS” Y EFICIENCIA REPRODUCTIVA EN LA HEMBRA BOVINA

En México, la ganadería bovina tropical, en comparación con la ganadería del altiplano, es la actividad pecuaria nacional más importante en cuanto al número de cabezas que posee y al número de becerros y becerras destetados que produce. En los sistemas de producción de doble propósito y carne del trópico mexicano se ubica más del 60 % de los vientres nacionales, los cuales se caracterizan por ser de razas cebuinas (*Bos taurus indicus*) y sus cruza con razas europeas (*Bos taurus taurus*). En comparación con los animales de razas europeas, los animales cebuinos y los cebuinos x europeos (cruzados) se caracterizan por ser más resistentes a las condiciones del trópico, mismas que se caracterizan por disponer de forraje de pobre calidad nutricional y una carga alta de parásitos, enfermedades infecciosas y calor.

Si bien es cierto que la ganadería bovina tropical cuenta con genotipos adaptados a las condiciones ambientales propias del trópico, estos genotipos a su vez presentan en promedio una menor eficiencia reproductiva que los genotipos desarrollados en ambientes templados, aún en las mejores condiciones ambientales del trópico. Es importante señalar que en el trópico de México existe un mosaico diverso de genotipos, producto de la introducción de diversas razas cebuinas y el cruzamiento de éstas con razas europeas, por lo que en la población de bovinos tropicales se tiene animales con diferente nivel de resistencia al ambiente y potencial reproductivo.

Con base en estudios desarrollados en Australia con ganado bovino de carne, adaptado a condiciones tropicales de ese país, se ha puesto de manifiesto que la edad a la pubertad es determinada en gran medida por la constitución genética de los animales (heredabilidad de 0.52 a 0.57); aunque de menor magnitud, la duración del anestro lactacional también presenta una influencia genética considerable, al menos en vacas Australianas Brangus (5/8 Angus 3/8 Brahman). Lo anterior posiblemente obedece a las adaptaciones a condiciones ambientales desfavorables que los animales *Bos indicus indicus* han vivido por muchos años. Adicionalmente, la posibilidad de que el comportamiento reproductivo de las hembras bovinas cebuinas y cruzadas con razas europeas también sea regulado por algunos genes específicos, rutas o redes de genes particulares, o de que algunas condiciones ambientales regulen la expresión de estos genes;

vale la pena explorarse para que a partir del conocimiento generado se puedan seleccionar animales en que haya un mejor balance entre la adaptación al medio y el desempeño reproductivo.

Con las técnicas modernas actuales diseñadas para estudiar los sistemas biológicos de tipo “ómicos” como la genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica, ahora es posible mejorar ese conocimiento. Además, con estas técnicas y otras relacionadas con la informática, ahora es posible identificar marcadores genéticos o moleculares que están asociados con algunas características de interés económico, e inferir la participación de algunos genes o descubrir nuevos genes, asociados con dichas características. De resultar que algunos biomarcadores estén estrechamente relacionados con la función reproductiva, será posible diseñar herramientas de manejo que permitan identificar, desde edades tempranas, a los animales que presentarán un desempeño reproductivo sobresaliente.

A continuación se hará un breve análisis/descripción de la literatura disponible en relación con sistemas biológicos de tipo “ómicos” relacionados con la edad a pubertad y el intervalo del parto al inicio de la ciclicidad estral posparto (anestro posparto) en hembra bovinas tropicales.

### Estrategias “ómicas” y edad para inicio de pubertad

Con base en el estudio de polimorfismos de nucleótidos simple (SNP) en todo el genoma (GWAS, acrónimo del inglés de genome-wide association study), usando el chip BovineSNP50 (Illumina, CA.), mismo que fue diseñado para detectar aproximadamente 54 mil SNP, se determinó que en vaquillas Brahman del norte de Australia el cromosoma 14 presenta una región específica de 6.45 Mb que contiene 32 SNP que están asociados significativamente con la edad a primer cuerpo lúteo; por otra parte, en un segmento similar del cromosoma 14 de vaquillas cruzadas de la misma región Australiana (F1, Europeo x Brahman, Africander o N'Dama) se identificó la mayor proporción de los SNP que estuvieron asociados con el desarrollo corporal. Lo anterior sugiere que los genes que han sido identificados y otros aún no identificados en esa porción del cromosoma como el FENK (regulador de GnRH en humanos) y RPS20 y SNORD54 (moduladores del crecimiento) podrían tener un papel preponderante en el desarrollo corporal y puberal de las hembras bovinas tropicales, los cuales requieren de ser estudiados y caracterizados para posteriormente

identificar las rutas fisiológicas o redes de genes en las que participan. Por otra parte, las vaquillas ruzadas de ese país adicionalmente presentan SNP que están asociados con edad a primer cuerpo lúteo en la región 44 a 50 Mb del cromosoma 5, la cual requiere de ser analizada para conocer los genes ahí presentes y conocer su relación con el desarrollo puberal.

Por otra parte, la posibilidad de que el inicio precoz de la pubertad en becerras tropicales esté ligado a SNP en genes candidatos (previamente identificados y conocida su posición en el genoma), con funciones relacionadas con el desarrollo corporal, o directamente con la función reproductiva, es una estrategia que han seguido algunos investigadores. En este sentido, el gen IGF-1 y varios componentes de su mecanismo de acción, mismos que tienen un papel central en el crecimiento y desarrollo de los mamíferos, fueron estudiados utilizando el chip BovineSNP50 en vaquillas Brahman y vaquillas cruzadas del norte de Australia. En este estudio, y con base en la asociación de SNP con edad a la pubertad, se visualizaron siete genes que estuvieron asociados significativamente con este indicador reproductivo, mismos que son *IGF1R*, *IGFBP2*, *IGFBP4*, *PERK*, *EIF2AK3*, *PIK3R1*, *GSK3B* y *IRS1*. De estos, el receptor de IGF1 (*IGF1R*) fue el que presentó SNP y haplotipos (combinación de SNP en este caso) que presentaron un mayor grado de asociación con edad a la pubertad. Lo anterior permite proponer a algunos SNP del gen *IGF1R* como marcador biológico de pubertad precoz, y pone de manifiesto a este gen como un candidato sobresaliente para la activación de la pubertad en las hembras bovinas tropicales. A esta fecha, no se han estudiado e identificados SNP en la estructura de otros genes de importancia reproductiva en hembras bovinas tropicales, tales como los de leptina, kisspeptina, neurokinina B, GnRH, LH, FSH, entre otros. El estudio de la asociación de marcadores moleculares en genes candidatos se fundamenta en que secuencias específicas de ADN del gen candidato con marcadores moleculares de interés (upstream, downstream, intrones, exones) están involucradas en el control de la función génica.

No obstante, la expresión de un gen puede ser controlada a diferentes niveles, entre los que se incluyen: la transcripción del gen (síntesis de ARN mensajero a partir del ADN), el procesamiento del ARN, el transporte de las moléculas de ARNm desde el núcleo hasta el citoplasma, la traducción del ARNm a proteínas en los ribosomas la velocidad de degradación del ARNm, o la activación o inactivación de proteínas después del ser sintetizadas; sin embargo, de todos

ellos el más importante es la regulación de la transcripción genética. La transcripción de cada gen es controlada por una región reguladora constituida por secuencias específicas de ADN, y por un complejo de proteínas reguladoras que reconocen y se unen a las secuencias de ADN; entonces, la región reguladora actúa como un apagador que permite o impide la transcripción del gen. Con el análisis conjunto de estrategias genómicas (GWAS), transcriptómicas (RNA-Seq) y proteómicas es posible precisar el encendido/apagado de genes y visualizar rutas fisiológicas involucradas en el inicio de la pubertad. De esta manera, la combinación de GWAS y RNA-Seq realizada sobre hipotálamo, pituitaria, ovario, útero, endometrio, tejido muscular, tejido adiposo e hígado de vaquillas Brangus pre y pospuberales permitió identificar la activación de 2,450 genes y la participación de siete reguladores transcripcionales (PITX2, FOXA1, TSG1D1, DACH2, LHX4, PROP1 Y SIX6) relevantes en el proceso puberal; de los genes encendidos en hembras pospuberales, la mayor proporción fueron observados en el hipotálamo, órgano maestro de la reproducción, cuya madurez durante el desarrollo prepuberal es factor limitante en la activación puberal. Adicionalmente, en este estudio se identificaron 25 SNP que infieren a *locus* de QTL (acrónimo del inglés de quantitative trait locus) que estuvieron asociados con el estado puberal, mismos que a su vez ayudarán por un lado a identificar genes con SNP que biológicamente son relevantes en la activación de la pubertad y por otra parte estos SNP podrán eventualmente ser usados para generar herramientas de manejo reproductivo en el ganado bovino tropical.

Un tema de amplio interés actual en la investigación genómica es la interacción entre nutrición y genómica (nutrigenómica). Existe documentación amplia que indica que el nivel de alimentación en las vacas durante la gestación ejerce efectos notables en sus crías en el corto, mediano y largo plazo, incluso el plano de alimentación de las crías misma influye notablemente en el comportamiento futuro de éstas; lo anterior posiblemente debido a cambios transcripcionales inducidos por la nutrición, como se ha evidenciado en estudios desarrollados en las crías de vacas Angus x Simmental que fueron o no suplementadas durante la gestación tardía. En el estudio anterior, se determinó que la subnutrición en las vacas gestantes en pastoreo inhibió la activación transcripcional de múltiples genes, el perfil de las hormonas metabólicas y el comportamiento productivo de los becerros durante la fase de crecimiento y finalización. Es necesario hacer estudios en ganado bovino tropical acerca de cómo la alimentación y los nutrientes en particular

afectan el transcriptoma, proteoma y metaboloma de los genes asociados con la pubertad de la hembra bovina. Lo anterior permitirá producir una herramienta de diagnóstico, posiblemente un chip que permita identificar individuos mal atendidos, y que en el futuro podrán presentar ineficiencias en cuanto al inicio de la pubertad en los sistemas de producción de bovinos tropicales.

## Estrategias “ómicas” y anestro posparto

A diferencia de lo observado en cuanto a los SNP que están asociados con edad a la pubertad, la distribución de los SNP que están asociados con la duración del anestro posparto parece tener una mayor distribución a lo largo del genoma. En vacas Brahman y cruzadas del norte de Australia se identificaron 66 y 113 SNP, respectivamente, asociados con el intervalo parto a primer cuerpo lúteo, los cuales se ubicaron en los cromosomas 3, 5, 14, 16 y 21. En ambos genotipos, el cromosoma 14 presentó un segmento en el que varios SNP estuvieron asociados con edad a pubertad y periodo posparto, lo cual permite inferir que esta región cromosómica es poseedora de genes reguladores de la función reproductiva en hembras bovinas. De manera particular, en la vacas cruzadas la mayor concentración de SNP asociados con la duración del anestro posparto se localizan en el cromosoma 5 y 16; de estos, el cromosoma 16 en el segmento definido aloja a los genes codificantes de la Papalsina-2 y del *MTOR* (acrónimo del inglés de mechanistic target of rapamycin), ambos genes involucrados en el crecimiento del esqueleto y mediador de la leptina en la expresión del gen *Kiss1* (responsable de la regulación de la secreción de GnRH), respectivamente. Lo anterior permite inferir que la expresión de estos genes respecto de la reactivación de la actividad ovárica posparto obedece a señales provenientes del exterior, siendo la dieta un componente esencial en la función reproductiva.

En esta línea de evidencias, mediante el estudio de genes candidatos con técnicas menos sofisticadas como es el uso de enzimas de restricción, PCR y electroforesis en geles de agarosa, se determinó en vacas Holstein Friesian en pastoreo de Uruguay, que el homocigoto dominante del SNP IGF-1/SnaBI presentó un menor intervalo del parto al primer cuerpo lúteo, por lo que este marcador genético es un componente de amplio interés económico para el mejoramiento genético de ganado bovino lechero.

Si bien es cierto que este genotipo animal no es muy utilizado en el trópico como raza pura, su uso para obtener animales cruzados para producir leche en el trópico mexicano es una práctica común. Por lo anterior, el estudio de este marcador genético en dicho gen y su relación con los niveles sanguíneos de IGF-I en ganado bovino tropical podría generar conocimientos que permitan identificar animales con mayor fertilidad. En esta misma ruta de estudio y con esta misma metodología, se determinó que el homocigoto dominante del SNP L127V de la hormona de crecimiento (GH) de vacas Jersey fue el que presentó el menor intervalo entre partos y el menor intervalo del parto a concepción, comparado con los heterocigotos y homocigotos recesivos del mismo SNP y gen. Esto indica la posibilidad de que algunos marcadores moleculares en la estructura de genes asociados con el desarrollo somático estén vinculados con la reproducción posparto.

Respecto del encendido/apagado de genes en tejidos y condiciones específicas, la información disponible en ganado bovino tropical es muy limitada. En un estudio reciente desarrollado con vacas Brahman y cruzadas del norte de Australia se demostró que durante la reanudación de los ciclos estrales después del parto, se presentó la expresión diferencial de 56 genes en el hipotálamo; de estos, tres genes vinculados con la formación de membranas celulares (ALDH1A2, SLCO1C1 y SLITRK6) fueron los que presentaron SNP con el mayor grado de asociación con la duración de anestro lactacional.

Por otra parte, la alimentación que las hembras reciben antes, durante y después de la concepción ejerce efectos notables en la producción y el desarrollo del embrión, con el subsecuente efecto en la fertilidad de la hembra. Más aún, las deficiencias de algunos nutrientes específicos tienen efectos epigenéticos en el embrión, según fue demostrado con la restricción de metionina, vitamina B12 y folato en borregas, con consecuencias notables en la presión sanguínea y la función del sistema inmune de los neonatos.

En vacas Holstein se demostró mediante RNA-Seq y qRT-PCR, que la suplementación con metionina en las vacas durante el desarrollo folicular y el desarrollo embrionario temprano indujo un cambio significativo en el transcriptoma de los embriones, es decir en el perfil de expresión génica. Lo anterior permite deducir que la maduración de los ovocitos, la fertilización y el desarrollo temprano de los embriones, son etapas altamente sensibles a las condiciones del medio ambiente en que estos procesos se desarrollan. A su vez, este medio es influido por el estado nutricional de la hembra, por lo

que esta condición debe ser explorada en hembras bovinas tropicales que frecuentemente padecen de estrés nutricional.

### V.2.2.3 ESTRATEGIAS “ÓMICAS” Y EFICIENCIA REPRODUCTIVA EN MACHOS

En los últimos tiempos se ha observado que la fertilidad en el ganado bovino productor de leche ha disminuido. Parte de esta caída en fertilidad ha sido por el gran peso que se ha puesto sobre la selección para características productivas, dejando de lado las reproductivas. Esta tendencia se ha modificado con la inclusión de parámetros reproductivos en los índices de selección más modernos. Sin embargo todo lo anterior está desarrollado para ganado lechero especializado y la información similar para ganado bovino productor de carne o de doble propósito, como el del trópico, es escasa.

Tradicionalmente se ha prestado mayor atención a la fertilidad en las hembras que en machos. Sin embargo con la aparición de las nuevas tecnologías para la selección se han comenzado a investigar los factores que afectan la reproducción en machos. En general, los principales defectos que afectan la fertilidad en machos están relacionados a la capacidad de los espermatozoides para llegar al oviducto y fertilizar al ovocito. Estos defectos se clasifican en conmensurables e inconmensurables. Los primeros se refieren a alteraciones que pueden ser contrarrestadas mediante un incremento en el número de espermatozoides por dosis de inseminación, y generalmente están relacionadas con alteraciones morfológicas. Los defectos inconmensurables tienen que ver con fallas durante la espermatogénesis y en especial durante la espermiogénesis, como por ejemplo, fallas en el proceso de condensación del ADN, formación del acrosoma o aquéllas que disminuyan la sobrevivencia embrionaria temprana. Estos defectos no son corregibles por incrementos en el número de espermatozoides en las dosis para inseminar. Se cree que la proporción en que se presentan ambos tipos de fallas es lo que determina la fertilidad de un macho.

A continuación se presentan algunos ejemplos de cómo se han empleado las ciencias ‘ómicas’ para investigar factores que afectan la fertilidad en los machos. Se intentará presentar información disponible para cada una de las ciencias por separado y en los casos en los que no hay información para ganado en condiciones tropicales se empleará información obtenida de razas lecheras o cárnicas.

## Genómica

En machos reproductores, la calidad del semen producido, determinada por el porcentaje de espermatozoides normales en el eyaculado, es uno de los factores determinantes de la fertilidad potencial y que muestra valores de heredabilidad alta ( $-0.60$ ). Estudios recientes en Australia han reportado la heredabilidad y asociación de ciertos genes con parámetros de fertilidad en machos de la raza Brahman y cruza de *Bos taurus indicus* x *Bos taurus taurus* (e.g. motilidad y morfología espermática, concentraciones sanguíneas de LH, inhibina e IGF1). Se encontró que uno de los parámetros con mayor asociación a la fertilidad fue el diámetro escrotal a los 18 meses de edad, que se asociaba con un mayor porcentaje de espermatozoides con morfología normal y con buenos porcentajes de motilidad tanto en masa como individual. Esto ha sido corroborado en un estudio realizado con machos de la raza Nelore, donde se reportó una asociación negativa entre el diámetro escrotal y el porcentaje de anomalías espermáticas.

Asimismo, se han reportado asociaciones entre concentraciones circulantes de algunas hormonas y la calidad del semen de los machos. La hormona de mayor relevancia fue la inhibina, que participa en el control de la espermatogénesis y que mostró asociación positiva con el diámetro escrotal, pero negativa con parámetros de calidad de semen, como motilidad y porcentaje de espermatozoides normales. Además de inhibina, IGF1 fue otro de los factores endocrinos asociados a diámetro escrotal e indirectamente a los parámetros reproductivos mencionados. Además, las concentraciones sanguíneas de IGF1 estuvieron asociadas a composición corporal, porcentaje de grasa dorsal y altura, lo que indica que este factor se asocia más a características de desarrollo corporal y por lo tanto a edad a pubertad.

Por otro lado, estudios realizados utilizando análisis genómicos (GWAS) en ganado Holstein han identificado posibles genes que tienen efectos sobre la espermatogénesis y la fertilidad en toros. Dentro de los genes candidatos identificados, la mayoría están relacionados a procesos celulares que ocurren durante la espermatogénesis o con la regulación de ésta. Una lista de algunos genes candidatos descritos para ganado bovino se presenta en el Cuadro 1. Esta lista muestra varios genes determinados en *Bos taurus taurus*, pero también incluye algunos genes o regiones identificadas para *Bos taurus indicus*, en especial de la raza Brahman. La lista presentada no es exhaustiva, pero ayuda a ilustrar la importancia e impacto de la espermatogénesis sobre la fertilidad en toros.

Cuadro 1. Genes relacionados a la fertilidad en toros Hosltein ( <i>Bos taurus taurus</i> ) y Brahman ( <i>Bos taurus indicus</i> ) determinados a través de la técnica de análisis de asociación del genoma completo (técnica “ómica”)			
Región	Gen Candidato	Función	Especie (Raza)
Cromosoma 2	Dynain DYNC112	Principal motor de los microtúbulos que permiten la mitosis y la meiosis, además de la posición y función de los organelos	<i>Bos taurus taurus</i> (Holstein)
Cromosoma 5	CBP-1	Permite progresión hacia meiosis durante espermatogénesis	
Cromosoma 18	ZNF541	Remodelación de la cromatina durante la espermatogénesis	
Cromosoma 18	Gen de la familia Ectonucleótido pirofosfatasa / fosfodiesterasa	Participa en el metabolismo de esfingolípidos	
Cromosoma 18	Subunidad alfa 1H del canal de calcio-dependiente de voltaje	Median el influjo de calcio al interior de la célula; participación en la reacción acrosomal	
Cromosoma 25	RODGI	Asociado con incrementos en la proliferación celular	
Cromosoma 25	Pseudogen – Parecido a Testina, localizado en zona de regulación del gen de Proteasa Serina, Treonina 21 (PRSS21)	Asociado a maduración de células germinales pre-meioticas.	
Cromosoma 29	No genes reportados en esta región	Relacionada a determinación de circunferencia escrotal	
	MAP1B – Familia de proteínas asociadas a microtúbulos	Afecta desarrollo neuronal y tejidos nerviosos asociados. Afecta fertilidad en machos de diferentes especies	
	PPP1R11	Asociado a función espermática normal a través de participación en motilidad espermática y espermatogénesis	
	STAT5A & UMP	Participan en fertilización y sobrevivencia embrionaria temprana	

Región	Gen Candidato	Función	Especie (Raza)
Cromosoma 2	Inhibina alfa	Regulación endocrina de espermatogénesis	<i>Bos taurus indicus</i> (Brahman)
Cromosoma 2	STK11IP	Participa en la regulación de espermatogénesis en humanos y fertilidad relacionada a acoplamiento de histonas	
Cromosoma 28	RTKN2	Relacionada al mecanismo de liberación de GnRH. Regula respuesta de la pituitaria a GnRH	
Cromosoma 14	Región relacionada a IGF-1	Regula edad a pubertad, altura, peso, adiposidad, entre otras características pleiotrópicas	
Cromosoma X	Receptor a Andrógenos	Regula circunferencia escrotal, espermatogénesis, desarrollo testicular y fertilidad	
Cromosoma X	Cadena ligera de Dineína	Regula espermatogénesis y motilidad espermática	
Cromosoma X	SERPINA7	Codifica para tiroglobulina, proteína transportadora de hormonas tiroideas en suero. Función indirecta sobre desarrollo testicular	

## Transcriptómica

Recientemente se ha descrito que el espermatozoide transfiere algunos o la totalidad de transcritos (ARNm) que posee hacia el ovocito durante la fertilización. Sin embargo la función de los ARNm transferidos es aún desconocida. Se ha investigado comparativamente, a través de microarreglos, la presencia de transcritos en toros de alta y baja fertilidad para conocer si hay una expresión diferencial que permita predecir fertilidad del toro. Se encontró una expresión diferencial de más de 200 genes entre toros de alta y baja fertilidad, y sólo una proporción baja (~8 %) fueron reportados como desconocidos. La mayoría de transcritos descritos están relacionados a procesos de transporte, interacciones entre proteínas, mecanismos de transcripción y modificaciones membranales, procesos necesarios para una adecuada capacitación e interacciones durante la fertilización entre ovocito y espermatozoide. Más aún, varios de los transcritos descritos también participan en la regulación del desarrollo y sobrevivencia embrionaria temprana. Algunos de los genes cuya expresión es diferente entre toros de alta y baja fertilidad son: Protamina 1 (participa en la condensación de la cromatina durante la espermatogénesis), Subunidad Beta 2 de Canales de Calcio Dependientes de Voltaje (reacción acrosomal) y Miembro 8 de la Familia de Acarreadores de Solutos (transportador de glucosa). La expresión diferencial entre toros de alta y baja fertilidad de los transcritos mencionados nos permitiría explorar la posibilidad de predecir la fertilidad a través de ARNm obtenido del eyaculado.

## Proteómica

La evaluación de fertilidad en machos normalmente se basa en la evaluación de los espermatozoides eyaculados, sin embargo se sabe que no sólo los espermatozoides contenidos en el semen son los responsables de la fertilidad en un macho. De hecho, la presencia de las secreciones de las glándulas seminales, entre ellas una gran cantidad de proteínas, juega un papel fundamental en la capacitación de los espermatozoides para que estos puedan viajar a través del tracto reproductor femenino a encontrarse con el ovocito y fertilizarlo. Basados en estudios realizados en *Bos taurus taurus*, se sabe que proteínas secretadas en el epidídimo son capaces de proteger a los espermatozoides del estrés oxidativo durante su paso y almacenamiento por este órgano, y que proteínas seminales protegen a las células espermáticas de la respuesta inmunes locales de la vagina, útero y oviducto. Las proteínas epididimales y seminales se unen a la membrana espermática y participan en la capacitación de los espermatozoides, para que estos puedan llevar a cabo interacciones funcionales con el epitelio oviductal y el ovocito. Así pues el conocer el proteoma seminal, esto es las proteínas contenidas en el semen, es de gran importancia para establecer relaciones causales entre éste y la capacidad fertilizante del macho.

En el caso del ganado *Bos taurus indicus* (Brahman) se han descrito dos proteínas que son las más abundantes en el plasma seminal: Isoformas de la Proteína Ligadora de Espermatozoides 1 (SBP1) y Espermedesina ZI3. Las primeras están involucradas en la capacitación y median la interacción con el epitelio oviductal; las segundas, por otro lado, tienen propiedades antioxidativas y median la motilidad espermática. Otras proteínas descritas incluyen: BSP-5, prostaglandina D sintetasa, tioredoxina reductasa, Inhibidor de Metaloproteínasa Tisular 2, Proteína Secretora del Epidídimo E1, Beta-2-Microglobulina, Albúmina, Alfa-enolasa, Transferrina, Clusterina, Inmunoglobulinas, Glutación Peroxidasa, Proteína Ácida de Fluído Seminal y proteínas fijadoras de calcio. La importancia de varias de estas proteínas desde el punto de vista de fertilidad fue investigado en un estudio proteómico comparando toros Brahman de alta y baja fertilidad. En el estudio, se encontraron 125 proteínas presentes de manera diferencial entre toros de alta y baja fertilidad. De estas proteínas, las expresadas en toros de alta fertilidad, se agruparon en tres procesos biológicos fundamentales: metabolismo, comunicación celular y motilidad. Las relacionadas al metabolismo fueron las involucradas en el metabolismo del

piruvato y glicólisis (Piruvato cinasa M2), ya que la capacitación es un proceso que requiere de alta energía. Adicionalmente, las enzimas COX3 y ATP5B, involucradas en la respiración oxidativa, también se encontraron elevadas.

Otras proteínas que se expresan más en toros con alta fertilidad son: el Factor de Crecimiento Epidermal (EGF) y el Factor de Crecimiento Derivado de Plaquetas (PDGF). El EGF juega un papel fundamental en la capacitación, ya que estimula la fosforilación de varias enzimas tirosina cinasa, además de activar a la Proteína Cinasa C (PLC) que modula la disponibilidad de calcio intracelular, necesario para la activación espermática. En cuanto a las proteínas involucradas en motilidad, la Proteína de Anclaje Cinasa-A 4 fue la expresada a la alza en los toros con alta fertilidad. Esta proteína está involucrada en la formación de la pieza principal del flagelo espermático y a través de reclutar a la Proteína Cinasa A (PLA) que facilita la fosforilación local, regula la función móvil del flagelo.

Aunado a los estudios comparativos entre animales con alta y baja fertilidad, en estudios recientes se ha investigado la relación entre proteínas seminales y morfología espermática en animales *Bos taurus indicus*. En dichos estudios se identificaron 152 posibles proteínas del plasma seminal, de las cuales 17 estuvieron significativamente asociadas al porcentaje de espermatozoides normales. De estas últimas, sólo 6 proteínas fueron candidatas a ser usadas para predecir el porcentaje de espermatozoides normales en el eyaculado de toros a los 24 meses de edad. Proteínas como Apolipoproteína A-1, Proteína DJ-1, Glutación Peroxidasa 3, Fosfoglicerato Cinasa 1 y Miembro de la Familia de Secretoglobina 1D mostraron una relación positiva con el porcentaje de espermatozoides morfológicamente normales. Mientras que para Clusterina/Proteína del Plasma Seminal A3 y Proteína Epididimal Secretora E1, la relación fue negativa. Estos estudios demuestran que existen varias proteínas candidatas que han sido identificadas en animales *Bos taurus indicus*, aunque solo descritas para Brahman, que pueden servir como marcadores de fertilidad en toros adultos. Sin embargo, investigaciones proteómicas como la anterior apenas se encuentran en etapas iniciales.

En general la aplicación de las ciencias “ómicas” en la evaluación de la fertilidad en toros es una herramienta que nos permitirá explorar nuevos horizontes para la selección de animales reproductores. De tal manera que se pueda

avanzar genéticamente en las características productivas sin poner en riesgo el desempeño reproductivo.

### V.2.2.4 CONCLUSIONES

Gracias a la llegada de las plataformas comerciales ha sido posible identificar SNP en algunos genes relacionados con la función reproductiva de los bovinos machos y hembras de regiones tropicales, no obstante, la información disponible es escasa y focalizada a algunos genotipos y regiones geográficas. Además, se ha puesto muy poca importancia al estudio de la reproducción de los sementales mediante las estrategias “ómicas,” cuando su relevancia en el mejoramiento reproductivo del hato es muy importante. Por su parte, el estudio de características reproductivas de las hembras bovinas tropicales ha tenido mayor atención, en donde se han observado algunas regiones cromosómicas asociadas con la edad a la pubertad y la duración del anestro lactacional en hembras cebuinas y cruzadas con razas europeas, pero se han empleado estrategias “ómicas” con relativamente baja capacidad de detección de marcadores moleculares (densidad). Con el empleo de plataforma de mayor densidad (ejemplo, BovineHD; Illumina; 770,000 SNP) se podrán descubrir más componentes implicados en los procesos reproductivos de los toros y las vacas; no obstante, considerando la amplia diversidad genética de los bovinos del trópico mexicano, es necesario validar las diferentes plataformas “ómicas” (genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica) bajo las condiciones de nuestra ganadería.

Sin bien es cierto, que se han identificado vínculos significativos entre el genoma y el comportamiento reproductivo de los machos y las hembras bovinas tropicales, a la fecha no se han generado herramientas de manejo que permitan seleccionar animales con desempeño reproductivo sobresaliente. Mediante estudios funcionales que integren dos o más estrategias “ómicas” se espera identificar polimorfismos “funcionales” en la estructura de genes candidatos, o cerca de ello, que estén asociados con características reproductivas y otras que tienen que ver con el desarrollo somático y neural. Lo anterior permitirá entonces establecer estrategias de manejo mediante el diseño de paneles de marcadores moleculares que explique en gran medida (> 50%), la variación genética asociada con la fertilidad de los toros y el comportamiento reproductivo de las vacas.

## V.3 TECNOLOGÍAS REPRODUCTIVAS DISPONIBLES

### V.3.1 TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO REPRODUCTIVO DEL HATO

El trópico mexicano tiene un gran potencial productivo para el desarrollo de la ganadería bovina; sin embargo, existe una baja eficiencia reproductiva con sólo alrededor del 40 a 50 % de los vientres pariendo cada año. En estas regiones predomina la explotación del ganado *Bos taurus indicus* y sus cruza con ganado *Bos taurus taurus* y un 10 a 15 % de razas especializadas en producción de leche o carne. Uno de los factores que más restringe la productividad en la ganadería tropical, es el prolongado anestro posparto que comúnmente se presenta en los hatos. La duración del anestro posparto resulta de una interacción compleja entre la intensidad del amamantamiento por parte de las crías y la condición nutricional de los vientres, y también puede ser modulada por otros factores como la presencia del semental, involución uterina, distocia, época del año, edad de la hembra y número de partos. En síntesis, la mayoría de las vacas reinician la actividad ovárica posparto en un periodo superior a los 100 días, el cual puede incluso prolongarse hasta los 250 días; éste es el principal factor que afecta el intervalo entre partos y en el 57 % de los casos es el problema reproductivo que afecta a los hatos.

Existe amplia evidencia de que los cambios en el peso vivo y la condición corporal durante el periodo pre y posparto tiene una estrecha relación con la reproducción en el ganado bovino. En las vacas *taurus x indicus* manejadas en el sistema de doble propósito, la complementación energética durante el periodo posparto disminuye el intervalo parto primera ovulación y primer estro. A su vez, las vacas de doble propósito que paren en época de norte y época seca, no logran restablecer su actividad ovárica a pesar de que se limite al mínimo el amamantamiento. Teniendo en cuenta lo anterior, resulta importante resaltar que la base para lograr un adecuado comportamiento reproductivo y productivo, es mantener una buena condición nutricional en las vacas pre y posparto.

En los últimos años, se ha venido empleando la sincronización de estros en la ganadería tropical, aunque no de manera extensiva. Al agrupar la presentación de estros, esta técnica de manejo reproductivo facilita el uso de la inseminación artificial e indirectamente de la transferencia de embriones; que son las principales herramientas

para el mejoramiento genético. Incluso con algunos protocolos, que a su vez sincronizan la ovulación, se puede realizar la inseminación a tiempo predeterminado sin detectar estros. Adicionalmente, la sincronización estral permite agrupar los partos, evitar la transmisión de enfermedades venéreas y en algunos casos inducir la actividad ovárica en vacas anéstricas o en novillonas prepúberes. En este apartado se describe el uso de la sincronización estral en la ganadería tropical, así como el de otras tecnologías de manejo reproductivo que son de mucha utilidad: control del amamantamiento, diagnóstico precoz de gestación, evaluación de sementales y sistematización de la información reproductiva por medio de programas computacionales.

### V.3.1.1 SINCRONIZACIÓN DEL ESTRO Y LA OVULACIÓN

Este método involucra la manipulación y el control del ciclo estral de las vacas, y como es común en otras áreas, existe mayor información para genotipos taurus explotados en climas templados, que la disponible para genotipos indicus manejados en regiones tropicales. La mayoría de los protocolos de sincronización de estros se basan en la utilización de agentes luteolíticos, como son las prostaglandinas y sus análogos sintéticos. También incluyen progesterona o progestágenos cuya función es imitar la función de un cuerpo lúteo, y a su retiro, simulan la luteolisis endógena con la presentación posterior de un estro y ovulación. Las hormonas anteriores pueden combinarse entre sí y también con otras como estrógenos, hormona liberadora de las gonadotropinas (GnRH) y sus análogos, gonadotropina coriónica equina (eCG) y gonadotropina coriónica humana (hCG).

#### Tratamientos con prostaglandinas

Las prostaglandinas  $F_2$  alfa (PGF2a) y sus análogos sintéticos (cloprostenol, luprostirol, fenprostaleno), actúan como sincronizadores del estro induciendo la regresión del cuerpo lúteo (luteólisis). Debido a esto, sólo son de utilidad en animales ciclando y entre los días 5 a 16 del ciclo estral, que es cuando hay un cuerpo lúteo presente. Las vacas inyectadas entre el día 10 y 16 del ciclo estral (diestro tardío) tienen una mejor respuesta de estro y fertilidad, que las vacas que son inyectadas entre el día 5 y 9 del ciclo (diestro temprano). El índice de concepción es más alto cuando la PGF2a es inyectada en la fase lútea tardía que en la fase temprana. Una explicación a esta respuesta es que en el cuerpo lúteo, el número de receptores a PGF2a se incrementa durante la fase lútea tardía, por eso se presenta una menor

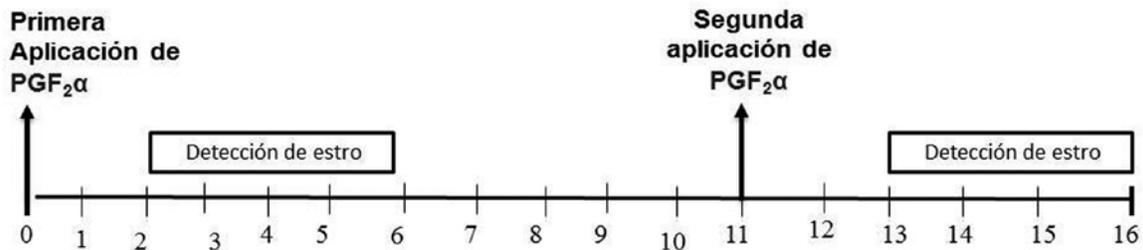
respuesta en la fase lútea temprana. Los valores de fertilidad al sincronizar con prostaglandinas pueden oscilar entre 45 a 75 %.

El método más común que se ha utilizado en la sincronización de estros con PGF2a es en el cual primero se hace una exploración transrectal de los ovarios, y la prostaglandina sólo se aplica en animales en que se detecte un cuerpo lúteo. Después de la aplicación de la hormona se detectan estros por un periodo de 5 días y las vacas que presentan estro se inseminan convencionalmente. Los vientres que no manifiestan estro en el día 5, son inyectados nuevamente y observados por cuatro días más. Un aspecto a considerar con este método de sincronización, es que la detección transrectal de cuerpos lúteos requiere de entrenamiento y experiencia y aun así la precisión que se logra es sólo de un 72 a 78 %. También, hay que considerar que la PGF2a es abortiva durante la mayor parte del periodo de gestación, por lo que antes de usarla se debe confirmar que las vacas no están gestantes. En este método de sincronización se minimiza el número de aplicaciones de la hormona por vaca, aunque por otra parte requiere mayor tiempo destinado a la detección de estros e inseminación comparado con otros esquemas de uso de prostaglandinas.

Una alternativa al método anterior, es la de aplicar dos inyecciones de PGF2a con un intervalo de 10 a 12 días. En teoría, 66 % de los vientres estarán en fase lútea y manifestarán estro después de la primera inyección (Esquema 1). Tanto las vacas que manifiestan estro como las que no lo demuestran, tendrán para la segunda aplicación un cuerpo lúteo sensible a la acción de la prostaglandina. Con el intervalo de 10 a 12 días entre aplicaciones se logra la mejor fertilidad, ya que las vacas están en fase lútea tardía al momento de la segunda aplicación y esto mejora la respuesta luteolítica a las prostaglandinas.

En la sincronización con prostaglandinas, el tiempo para la presentación del estro depende de la dinámica del desarrollo folicular, particularmente de su última parte, la cual se manifiesta como ondas u olas de desarrollo de folículos antrales; los bovinos presentan dos a tres olas de desarrollo folicular durante el ciclo estral, desarrollándose un folículo dominante en cada una y ovulando sólo el folículo dominante de la última ola. Si la aplicación de prostaglandinas se hace cuando el folículo dominante de una ola se encuentra en la última fase de crecimiento y aún es viable, éste es el que ovulará y entonces el estro/ovulación se presenta relativamente pronto (2 a 3 días post tratamiento). En el otro extremo, si la aplicación de

prostaglandinas se hace cuando el folículo dominante se encuentra en la fase estática tardía y ya no es viable, entonces hay que esperar a que se desarrolle un nuevo folículo dominante para que éste sea el que ovule, y el tiempo para presentación del estro/ovulación se alargará (5 a 6 días post tratamiento). Esta dispersión en la presentación de estros al sincronizar con prostaglandinas, impide realizar la inseminación a tiempo fijo (IATF), sin detección de estros, cuando se sincroniza con esta hormona. En los bovinos y otros rumiantes la dosis de PGF<sub>2</sub>a se puede disminuir cuando se aplica vía submucosa vulvar sin afectar la respuesta al tratamiento y la fertilidad.



**Esquema 1. Protocolo de sincronización de estros con doble dosis de PGF<sub>2</sub>α.** Los requisitos de este sistema son: Palpación transrectal, vacas ciclando, buena condición corporal y los animales deben de estar ganando peso vivo.

## Tratamientos con prostaglandinas en combinación con otras hormonas

### Ovsynch

Este protocolo consiste en sincronizar el estro y la ovulación por lo que permite llevar a cabo la IATF. En el día cero se administran 100 µg de GnRH para inducir una nueva oleada folicular y siete días después una dosis luteolítica de PGF<sub>2</sub>a para causar la regresión del cuerpo lúteo. Finalmente, 48 h después se aplica una segunda dosis de 100 µg de GnRH para inducir la ovulación del folículo dominante de la nueva oleada y se insemina a tiempo fijo a las 16 h (Esquema 2). Los resultados de fertilidad de este método son muy variables (35 a 70 %) debido al gran número de factores que influyen en la respuesta como son: condición corporal, número de partos, estrés calórico, época del año, entre otros. En general, el tratamiento Ovsynch ha dado buenos resultados en vientres de hatos lecheros en climas templados, sin embargo, es menos eficiente en vaquillas, ya que éstas no responden muy bien a la primera aplicación de GnRH; algunas evidencias indican que en general los genotipos indicus se comportan como vaquillas de razas lecheras, aunque esto requiere confirmación. Independientemente de lo anterior, en el caso de ganado tropical, la alta incidencia de anestro postparto prolongado limita mucho la utilización del Ovsynch; en esas condiciones las tasas de gestación que se obtienen pueden ser tan bajas como 15 %. Existen variantes al Ovsynch como el Heatsynch en que se sustituye la segunda aplicación de GnRH por la inyección de 1 mg de cipionato de estradiol, y el Cosynch en que insemina al momento de aplicación de la segunda GnRH. Otra variante es la de Selectsynch, en la que después de la aplicación de la PGF<sub>2</sub>a se detectan estros por 4 días y se insemina a las vacas que lo presentan, al quinto día se aplica GnRH e IATF a las vacas que no han presentado estro. Las tasas de gestación en ganado lechero con el protocolo Heatsynch, Cosynch y Selectsynch son comparables a las del programa Ovsynch, sin embargo, la eficiencia de estas variantes también es muy baja en vacas en anestro, por lo que son de poca utilidad en la ganadería tropical.



Esquema 2. Protocolo de sincronización de estró y ovulación. Sistema Ovsynch. Normalmente se utiliza en vaquillas y vacas lecheras.

### Tratamientos a base de progesterona o progestágenos

La progesterona y sus análogos sintéticos o progestágenos ejercen retroalimentación negativa sobre la liberación pulsátil de GnRH y de la hormona luteinizante (LH) y debido a eso suprimen el estró y la ovulación. En los tratamientos de sincronización estral con progesterona/progestágenos, al suspender su suministro se pierde el efecto inhibitorio que ejercen, resultando en un incremento en la liberación de GnRH y LH que estimula la maduración folicular final y la ovulación pocos días después de suspender el tratamiento.

Se ha observado que tratamientos largos de progesterona/progestágenos (16 a 18 días) provocan una disminución de la fertilidad debido al desarrollo de folículos dominantes persistentes. Los mejores resultados son tras la utilización de tratamientos de corta duración (7 a 9 días) pero en estos se debe aplicar además un agente luteolítico; el luteolítico de elección es la PGF<sub>2α</sub> y su administración puede realizarse al momento de suspender la progesterona/progestágeno o uno/dos días antes.

En los tratamientos en que se combinan progesterona/progestágenos con PGF<sub>2α</sub> se logra un buen grado de sincronización y además por la administración de la progesterona/progestágenos durante varios días se puede inducir el estró y la ovulación en una proporción aceptable de vacas en anestro.

Uno de los progestágenos utilizados para la sincronización estral es el acetato de melengestrol (MGA; 6- metil-17 alfa-acetoxi- $\alpha$ 6metileno-pregn-4, 6-dieno-3, 20-diona). Este progestágeno es suministrado oralmente por periodos de tiempo variables (0.5 mg /vaca/día, por 8 a 14 días), con buenos resultados de sincronización estral e inducción de estró en hembras anéstricas.

El suministro de progestágenos también se puede hacer mediante implantes subcutáneos. En el mercado nacional existe un producto que se denomina CRESTAR (Laboratorio Intervet), en el que el implante contiene 3 mg del progestágeno norgestomet (17  $\alpha$ -acetoxi-11- $\beta$ - metil-19-norpreg-4-ene-3,20-dione). El tratamiento para sincronizar estros con CRESTAR, incluye la inyección intramuscular de una solución al momento de inserción del implante, el cual se mantiene insertado por 9-10 días; la solución inyectable contiene 3 mg de norgestomet y 5 mg de valerato de estradiol. El propósito de la solución inyectable es en principio promover la luteólisis (progestágeno y valerato de estradiol) y también inducir la emergencia de una nueva ola de desarrollo folicular 4 a 5 días después (valerato de estradiol); el implante por sí sólo no afecta la formación ni la función del cuerpo lúteo pero evita la ovulación mientras esté insertado. Con este protocolo el grado de sincronización es mejor que con prostaglandinas luteolíticas (estró 48 a 72 h después de retirar el implante), pero aun así no es suficiente para hacer IATF con buenos resultados; la fertilidad con inseminación artificial a estró detectado es variable (30 a 60 %) y depende de la condición corporal, periodo posparto, presencia de la cría, época del año, entre otros.

Una variante del tratamiento anterior (Esquema 3), que se ha utilizado con éxito en la ganadería del trópico es la combinación del tratamiento base CRESTAR con administración de una dosis luteolítica de PGF<sub>2</sub> $\alpha$  (al retiro del implante o uno/dos días antes) y eCG (500 U.I. al retiro del implante); en este caso la administración de eCG mejora el grado de sincronía permitiendo hacer la IATF, y además mejora la respuesta de inducción de estro en animales en anestro.

Existe a su vez una combinación de Ovsynch con CRESTAR en la que se inserta el implante con norgestomet durante el periodo entre la primera administración de GnRH y la de PGF<sub>2</sub> $\alpha$  (días 0 y 7 del protocolo Ovsynch); en este caso y por el efecto del progestágeno se llega a inducir estro/ovulación en vacas en anestro, mejorando las respuestas a Ovsynch en condiciones de producción tropical con alta incidencia de anestro posparto prolongado.

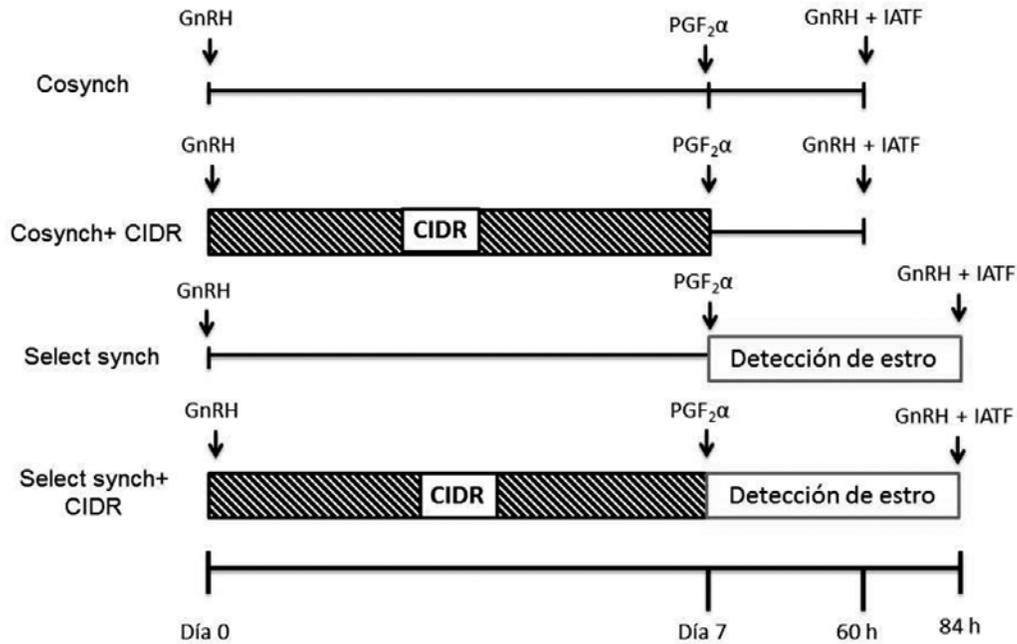


Esquema 3. Protocolo de sincronización de estro con el uso de progestágenos y otras hormonas.

En el caso de la sincronización estral con progesterona la manera más práctica para hacerlo es mediante el uso de dispositivos intravaginales de liberación controlada; CIDR-B (Laboratorio Pharmacia), es el nombre del producto comercial que se encuentra disponible en México.

El CIDR-B se puede incluir como parte de los protocolos Ovsynch, Cosynch o SelectSynch, manteniéndose el implante entre el día 0, aplicación de 1era GnRH, y el día 7, aplicación de PGF<sub>2</sub> $\alpha$  (Esquema 4); así mejora la respuesta a estos protocolos en hatos con alta incidencia de anestro posparto prolongado.

En los protocolos de sincronización del estro y la ovulación con IATF se puede a su vez sustituir a la GnRH por alguna sal de estradiol; tanto en la aplicación inicial de GnRH que sincroniza la emergencia de una nueva ola de desarrollo folicular, como en la segunda que induce la ovulación del folículo maduro de esa nueva ola. De hecho en genotipos indicus puros o cruzados se ha detectado una mejor respuesta al estradiol para sincronizar la emergencia de una nueva oleada de desarrollo folicular que con GnRH.



Esquema 4. Diferentes protocolos de sincronización de estrógeno con combinaciones hormonales

Un ejemplo de tratamiento en que se sustituye GnRH por benzoato de estradiol (BE) y que ha dado buenos resultados en hatos de ganado indicus en condiciones tropicales es: en el día cero se inserta un CIDR-B y se inyecta i.m. 2 mg de BE, el día 8 se retira el CIDR-B y se aplica una dosis luteolítica de PGF<sub>2</sub>a, el día 9 se aplica 1 mg de BE i.m. y por último se hace la IATF 52 a 56 h después del retiro del CIDR-B. En caso de que por el tiempo posparto (menos de 90 días) o por el estado nutricional de las hembras (condición corporal baja; menor a 2.5 en escala de 1 a 5), se sospeche que hay una proporción importante de anestro, se recomienda aplicar también 400 U.I. de eCG i.m. el día 8 del protocolo.

Una ventaja extra de los CIDR, es que cuando se usan por periodos cortos, al retiro todavía tienen una cantidad suficiente de progesterona como para ser reutilizados; en este caso es importante limitar la posibilidad de transmisión de enfermedades infecciosas mediante su lavado y desinfección antes de reutilizarlos, asimismo, se recomienda la reutilización sólo en animales de un mismo ható y sólo en hatos con un buen estado de salud.

### V.3.1.2 CONTROL DEL AMAMANTAMIENTO

La regulación del estímulo del amamantamiento en el ganado bovino de carne y de doble propósito, combinado con mejores sistemas de alimentación son las mejores opciones para reducir la duración del anestro posparto.

La variante más sencilla de esta regulación es la del destete precoz, que consiste en separar definitivamente el becerro de la madre a los 4 a 5 meses de edad. Las vacas después del destete reiniciarán en un periodo corto su actividad estral/ovulatoria. Esta tecnología da buenos resultados en cuanto a la reactivación reproductiva de los vientres, pero se requiere contar con una dieta de alta calidad para alimentar a los becerros destetados de tal manera que no se afecte su desarrollo.

También se puede optar por realizar un destete temporal por periodos de 3 a 5 días a partir del día 45 posparto. Es importante la separación completa de vacas y crías para que no se vean ni se oigan entre ellas, así como proporcionar agua fresca/limpia y alimento succulento de buena calidad nutricional a las crías durante el periodo de destete. El destete temporal se puede repetir a intervalos de 30 a 45 días hasta

que se resuelva la condición de anestro. Asimismo, también se puede asociar con un tratamiento de inducción de estro a base de progesterona o progestágenos, mejorando de esa manera los resultados de inducción de estro/ovulación.

Una variante en el control del amamantamiento que requiere un poco más de manejo es el amamantamiento restringido a una o dos veces al día. Los becerros amamantan por un periodo de 30 a 60 min cada ocasión y posteriormente son separados de la madre a instalaciones/potrerros distantes. Al igual que en el destete precoz, es recomendable ofrecer a las crías agua fresca/limpia y una complementación alimenticia de buena calidad. Este manejo reproductivo es de gran eficiencia para reducir la duración del anestro posparto en los genotipos *indicus*.

### V.3.1.3 DIAGNÓSTICO PRECOZ DE GESTACIÓN

Para un buen manejo reproductivo en hatos productores de carne o de leche, es importante identificar a los animales que no están gestantes lo más pronto posible, para tratar de servirlos de nuevo y que queden gestantes.

Los métodos para el diagnóstico precoz de gestación que comúnmente se utilizan en bovinos y el tiempo post servicio en que se aplican son:

1. Retorno a estro 18-24 días.
2. Palpación transrectal de alantocorion 33 días.
3. Palpación transrectal de vesícula amniótica 28 a 30 días.
4. Ultrasonografía 24 a 30 días pos-servicio.

#### No retorno al estro

El no retorno a estro es un método de manejo simple para identificar vacas potencialmente gestantes, pero para que sea útil se requiere de un buen programa de detección de estros. El siguiente ejemplo ilustra el riesgo de usar solamente este método: asumiendo que en un hato en cada servicio de inseminación el 65 % concibe y el 35 % no. Esto sería 35 % de retorno a estro. Si el índice de detección de estro es de 50 %, el 17 % de las vacas serían incorrectamente consideradas como gestantes. Sin lugar a dudas, alguna de ellas retornaría a estro tres semanas más tarde. Adicionalmente, se debe considerar que un número pequeño de vacas presenta conducta de estro aun cuando está gestante (5 %). Lo anterior indica que

el método de no retorno a estro no es del todo eficiente e incluso existe la posibilidad de inseminar animales gestantes provocándoles el aborto.

#### Palpación del alantocorion

La estructura responsable del crecimiento del útero durante la gestación temprana es el alantocorion el cual contiene el fluido alantoideo. Alrededor de los 30 a 35 días de gestación, el cuerno uterino grávido incrementa su tamaño y a la palpación la pared uterina es delgada pudiéndose detectar la presencia del fluido alantoideo. Alrededor de 35 a 40 días de gestación es posible la palpación del alantocorion, el cual es identificado como un tejido delicado que se escapa/desliza al presionar la pared del cuerno uterino; esto debido a que solamente se fija al endometrio a nivel de las carúnculas, pues el tipo de placentación en la vaca es cotiledonario. Es recomendable hacer el diagnóstico de gestación por palpación del alantocorion después de 45 días de gestación para minimizar la posibilidad de daño al embrión; una vez transcurrido este tiempo el método es seguro y de gran eficiencia cuando es realizado por un técnico entrenado.

Cabe mencionar que el alantocorion puede persistir por un período corto después de la muerte embrionaria/fetal aunque con reabsorción de fluidos fetales; esto se debe considerar al hacer el diagnóstico de gestación a partir de la detección del alantocorion.

Por otra parte, existen condiciones como la piometra o hidrometra en la que hay aumento del tamaño del o los cuernos uterinos, y que deben diferenciarse de una gestación para no generar diagnósticos falsos positivos.

#### Palpación de vesícula amniótica

Esta vesícula puede ser palpada en algunas vacas en forma temprana, alrededor de los 30 días, con un diámetro aproximado de 1 cm, mientras que a los 40 días es de 1.7 cm. El diagnóstico por palpación de vesícula amniótica se complementa con la identificación de un cuerpo lúteo en alguno de los ovarios. Esta técnica se dificulta en vacas pluríparas por el tamaño y posición del tracto reproductivo.

El saco amniótico se identifica como un objeto turgente esférico, del tamaño de un guisante, flotando en el fluido alantoideo. A los 65 días de gestación, la vesícula amniótica es más fácil de identificar pues ya tiene el tamaño aproximado de un huevo de gallina (Cuadro 1). En general, no se recomienda hacer el diagnóstico de gestación por palpación de la vesícula amniótica y menos de

manera muy precoz (antes de 45 días post-servicio); esto porque se puede dañar al embrión e interrumpir la gestación por mortalidad embrionaria.

Longitud de la gestación (días)	Cm	Anchura de los dedos
35	0.7	½
42	1.5	1
48	3.5	2
53	5.5	3
58	7.5	4
62	9.0	Palma de la mano
65	10.5	Palma de la mano



Palpación de la vesícula amniótica

## Ultrasonografía

La ultrasonografía permite hacer diagnósticos de gestación muy precisos aún con gestaciones muy tempranas (25 a 30 días post-servicio), sin que esto comprometa la integridad del embrión y el mantenimiento de la gestación; desde luego que esto depende de la destreza y experiencia del técnico que realiza el diagnóstico.

Lo que se detecta con el equipo es la distensión por líquido del cuerno uterino grávido y eventualmente la presencia de la vesícula amniótica con el embrión. El posible inconveniente de este método es que el costo del equipo que se requiere sigue siendo bastante elevado.

Existen otros métodos para hacer diagnóstico de gestación precoz en bovinos (25 a 30 días post-servicio) que presentan un buen nivel de eficiencia, como el de cuantificación de la glicoproteína asociada a la gestación (PAG-ELISA), o pueden ser un buen auxiliar en la aplicación de estos diagnósticos (determinación de progesterona en leche por ELISA). Sin embargo, estos sistemas requieren de un entrenamiento mínimo en métodos de laboratorio y al menos en el caso del segundo no se encuentra disponible comercialmente en México.

A través de la aplicación rutinaria de métodos de diagnóstico precoz de la gestación se puede identificar a los animales que no están gestantes, para reencauzarlos al programa de servicios por monta natural o inseminación artificial y hacer que queden gestantes lo más pronto posible.

En el caso de las hembras diagnosticadas precozmente como gestantes, es indispensable reconfirmar la gestación en un estadio más avanzado para a su vez identificar a aquellas que no hayan mantenido la gestación; es importante tener en cuenta que el periodo

entre la concepción y los 50 a 60 días post servicio es cuando se presenta la mayor proporción de pérdidas de la gestación, particularmente en el periodo de concepción a 40-45 días post servicio.

### V.3.1.4 PROGRAMAS DE CÓMPUTO PARA DETERMINAR EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO

Una máxima de la era de la tecnología de la información y la comunicación dice que “Información es poder.” Esto se refiere a que quien tenga la información adecuada y en el momento oportuno, tendrá la posibilidad de tomar las mejores decisiones. En el caso de los sistemas de producción animal, resulta casi imposible pensar en que un productor que tiene en su explotación pecuaria un agronegocio, tome las decisiones basado en corazonadas, intuiciones o en otras razones que no sean la información fidedigna que el mismo sistema de producción genera.

En este sentido, los Sistemas de Información para el Manejo de la Explotación (SIME) se convierten en herramientas esenciales en el apoyo a la toma de decisiones, en primera instancia en la misma explotación. Sin embargo, al ir más allá, permite analizar los datos de varios sistemas de producción, llegando a generar información general sobre la realidad del sector, desde la particularidad de todos y cada uno de los sistemas de producción.

No sólo basta decir que el sistema es eficaz porque produce leche, carne o animales para la venta; hay que detallar qué tan eficiente es el sistema, esto medido por medio de indicadores zootécnicos o bio-económicos. Todo sistema debe apuntar a la sostenibilidad (económica, social y ambiental), buscando producir alimentos inocuos en suficiente cantidad y calidad. En este entramado de condiciones, el sistema de información se reafirma como el elemento esencial para controlar y monitorear todas las actividades del sistema de producción y determinar si las metas y objetivos de la explotación pecuaria se cumplen o no.

Existen en el mercado un gran número de programas de cómputo para el control del desempeño reproductivo y el apoyo en la toma de decisiones en los sistemas de producción bovina. Uno de estos es el programa VAMPP (Programa Automatizado para el control de Producción y Manejo Veterinario, por su nombre en inglés: Veterinary Automated Management Production and Control Program), el cual ha sido validado y adaptado a las condiciones tropicales de Costa Rica con excelentes resultados.

## V.3.2 TECNOLOGÍAS PARA OBTENCIÓN, MANIPULACIÓN, PROCESAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE GAMETOS Y EMBRIONES

### V.3.2.1 INTRODUCCIÓN

Las herramientas biotecnológicas han demostrado ser un excelente aliado para la humanidad, para enfrentar los retos que se presentan tanto en términos de suficiencia y calidad alimentaria, como los relacionados con las especies animales con algún grado de amenaza o en peligro de extinción.

Los programas de mejoramiento basados en evaluaciones genéticas y orientados a necesidades específicas de producción y el uso intensivo que se da a los animales sobresalientes, gracias al uso de herramientas reproductivas, van reduciendo la base de variabilidad genética en estas razas, generando la necesidad de que se establezcan estrategias de conservación ex situ que permitan conservar el germoplasma de individuos relevantes a lo largo del tiempo, y así preservar variabilidad genética que pudiera desaparecer ante la acelerada evolución que experimentan estas razas y tenerlo disponible para su posterior reintroducción, con características particulares al pool genético de la o las razas cuando así se requiera.

Así mismo, estas herramientas han sido utilizadas a nivel comercial como apoyo para alcanzar objetivos de mejoramiento genético y de producción. Lo anterior ha sido particularmente relevante para el caso del semen procesado y congelado.

El término germoplasma animal, se refiere colectivamente a células que, por sí mismas o en combinación con otras dan origen a descendencia viva (primordialmente embriones en estadios de pre-implantación, células espermáticas y óvulos). El método de conservación de gametos y embriones que ha probado su eficiencia tanto por permitir mantener la viabilidad del germoplasma como por ser efectivo en el largo plazo, es la conservación de los especímenes, congelados o vitrificados en el nitrógeno líquido (NL) o en vapores del mismo elemento, a temperaturas de -196 °C. La crioconservación de germoplasma animal no solo tiene impacto como método de conservación ex situ de los recursos genéticos animales, también es una herramienta reproductiva utilizada en ganadería para diseminar ampliamente la genética de animales superiores a través de técnicas como la transferencia de embriones e inseminación

artificial con semen congelado. Baste decir que en 1998, más de 250 millones de dosis de semen proveniente de toros genéticamente superiores fueron criopreservadas a nivel mundial, y que más de 100 millones de vacas recibieron su primer servicio de inseminación artificial de esas dosis.

La crioconservación de germoplasma animal demanda la concurrencia de conocimientos y tecnologías en áreas como la fisiología animal, biología celular, embriología, cultivo in vitro de células y criobiología, entre otras. El mantener la viabilidad de los gametos y embriones después de someterlos a procesos de colección, dilución, cultivo, co-cultivo, adición de componentes orgánicos y químicos, exposición a sustancias tóxicas (crioprotectores), enfriamiento y congelación, es el gran reto que enfrenta la conservación de gametos y embriones, y una gran cantidad de información se ha generado a partir de la década de 1940, cuando de manera fortuita se descubrieron las cualidades crioprotectoras del glicerol para la criopreservación de la célula espermática, hasta nuestros días en donde el reto a vencer es la vitrificación de óvulos con tasas de sobrevivencia adecuadas al proceso.

### V.3.2.2 SEMEN

La criopreservación de semen está respaldada por 65 años de investigación, desde el descubrimiento de las capacidades crioprotectoras del glicerol, y es actualmente una tecnología de uso rutinario en casi todas las especies domésticas, tanto para la conservación de germoplasma como para el uso productivo (inseminación artificial). Adicionalmente, en virtud de que el volumen de un eyaculado se puede incrementar con el uso de diluyentes fisiológicos, es posible generar varios cientos de unidades de germoplasma de una sola colecta de semen. Estos hechos colocan a la conservación de semen como el método preferido y más utilizado en los bancos de germoplasma, con la desventaja, sin embargo, de que se está conservando únicamente la mitad del acervo genético necesario para crear un individuo, y que para poder generar el genotipo que se está conservando, se requieren varias generaciones de cruzamiento absorbente (4 a 5 para obtener animales con 94 a 97 % de la composición genética deseada). Una última consideración en este apartado, es la dificultad que entraña la colección de muestras de semen como recurso genético, pues a diferencia de la colección comercial de semen a partir de individuos de alto mérito genético, que se realiza en instalaciones sanitariamente aseguradas, los machos que se colectan como resultado de la identificación de animales candidatos a representar

la variabilidad genética en una población, por lo general están dispersos y resulta muy complicado asegurar condiciones sanitarias al momento de la colección. Por ello, es importante contar con métodos sensibles y específicos de evaluación de germoplasma, que permitan asegurar la calidad sanitaria. El factor sanitario es crítico cuando se trata de semen, por ello, investigaciones recientes orientadas a sustituir los componentes orgánicos de origen animal (yema de huevo, leche) en los diluyentes para el procesamiento de semen, con componentes vegetales con propiedades similares (lecitina de soya), resultan relevantes al disminuir la posibilidad de contaminar el semen (bacterias, virus, etc.), lo que puede ocurrir con diluyentes conteniendo componentes orgánicos de origen animal.

Aunque la inseminación artificial ha sido la herramienta biotecnológica más difundida en el bovino, su uso se concentra en explotaciones lecheras de clima templado y el grado de utilización en ganaderías de los trópicos de México es todavía muy bajo.

### Semen sexado

La inseminación artificial ha tenido un papel central en el mejoramiento genético del ganado bovino, principalmente en los bovinos productores de leche; sin embargo, con el uso de semen convencional se obtiene un 50 % de hembras y un 50 % de machos aproximadamente; además, se ha observado que las vacas muy viejas producen alrededor de 53 % de las crías machos.

El sexo es la característica productiva más deseable en producción animal, ya que está asociado a la producción de leche y becerros en las hembras, o mayores conversiones alimenticias y producciones de carne en los machos. En los mamíferos el sexo de la cría es determinado por el cromosoma sexual contenido en el espermatozoide fecundante.

La predeterminación del sexo se pudo lograr gracias a los avances en la computación, biofísica, biología celular y fisiología reproductiva aplicada. A partir de la década de 1980 comenzó a aplicarse una técnica denominada citometría de flujo, la cual permite separar los espermatozoides de acuerdo a sus cromosomas sexuales. Tomó alrededor de 20 años que esta tecnología fuera comercializada para su uso en inseminación artificial en ganado bovino. Esta técnica se basa en diferenciar los espermatozoides X e Y en base a su contenido de DNA. En el caso de los bovinos, los espermatozoides X que producen hembras

contienen un promedio de 3.8 % más de DNA que los espermatozoides Y que producen machos.

La primera producción comercial de semen sexado fue en la compañía Cogent en el Reino Unido. Desde entonces millones de crías han nacido de semen sexado producido por citometría de flujo y miles más están gestándose. La gran mayoría de estas crías se han producido en Estados Unidos, Reino Unido, Argentina, y con menores números en otros países. Aunque tuvo un inicio relativamente lento, ha aumentado exponencialmente la producción de semen sexado bovino con un estimado de 4 millones de dosis en el 2008.

El semen sexado se comercializa en pajillas de 0.25 ml a una concentración de 2.1 millones de espermatozoides. Esta concentración se debe a que al momento de sexar el semen se pierde aproximadamente un 80% del eyaculado entre los espermatozoides machos y los espermatozoides que no se logran diferenciar. Este semen es menos fértil y más delicado que el semen convencional, debido a que los espermatozoides son sometidos a varios procesos para la separación de las células conteniendo el cromosoma sexual X y las que portan el Y, además del proceso de congelado. A pesar de las limitantes previamente mencionadas, el semen sexado claramente ha tenido una buena aceptación como biotecnología reproductiva, y se espera que su utilización aumente exponencialmente en años venideros.

Se han conseguido aceptables porcentajes de preñez con la dosis reducida de semen sexado congelado en vaquillas y vacas productoras de carne, aunque los resultados en vacas lecheras (Holstein) han sido poco alentadores. No obstante lo anterior, esta tecnología puede utilizarse en vacas lecheras en producción que cumplan con ciertas características, con resultados cercanos a los obtenidos con semen convencional. Con respecto a este punto, en un estudio realizado en 2010 en el norte de México, se realizaron 426 inseminaciones en vacas multíparas Holstein x Gyr con semen sexado y 223 inseminaciones con semen convencional, obteniéndose 22 y 37 % de animales gestantes respectivamente, con una eficiencia en la producción de hembras del 91 %.

Dado el alto costo de mantenimiento del hato de cría el uso del semen sexado ha permitido el diseño de sistemas productivos más eficientes, al reducir los costos asociados con el mantenimiento de animales únicamente dedicados a la reproducción. Con el uso de semen sexado se reduce potencialmente a 50 % el número de vacas necesarias para producir las

hembras de reemplazo. Esto le permite al productor ser más estricto en la selección de las hembras que producirán a los reemplazos permitiendo un avance genético más acelerado.

Se han diseñado sistemas productivos que resultan ser 25 a 50% más eficientes que el sistema tradicional. Por ejemplo, se puede inseminar a las novillas con semen sexado para producir la siguiente generación de hembras de reemplazo y el resto del hato se insemina con semen sexado para producir machos para el abasto o pie de cría. Otro sistema, que ha mostrado tener la mayor eficiencia biológica, consiste en inseminar las novillas de reemplazo con semen para producir hembras y enviarlas a rastro después de destetar a su primera cría y que produjeron su reemplazo. De esta manera sólo se tienen hembras en el rancho, producen una cría y se venden como pie de cría o para abasto antes de cumplir su tercer año de vida. En todo caso, el uso de semen sexado requiere de una evaluación económica para cada circunstancia, y habrá situaciones especiales en las que el uso de semen sexado será económicamente viable. Entre las variables que hay que considerar están los beneficios como el avance genético derivado del uso de menos y mejores vacas para producir los reemplazos, menor distocia en las becerras que tienen becerros hembra, uso de vacas que no producirán reemplazos para producir becerros machos, mejor crecimiento de los becerros macho, etc.

El sexado espermático ha permitido su utilización con otras técnicas como la transferencia de embriones para la producción de embriones sexados, ya sea producidos in vivo o in vitro, así como en el caso del semen revertido (semen convencional que se descongela y se sexa para su uso principalmente en producción in vitro de embriones y en menor grado para inseminación artificial).

### V.3.2.3 EMBRIONES

Aunque la producción de embriones bovinos (TE) a través de superovulación y colección no quirúrgica y su posterior crioconservación es una técnica rutinaria en la actualidad, sigue siendo, con respecto a la producción de semen un procedimiento que requiere mayor inversión, más recursos técnicos y de equipamiento y la producción de unidades de germoplasma por colección por animal es menor (un promedio de 5.5 embriones congelables por colección), comparado con los varios cientos de dosis de semen que se pueden llegar a obtener de un solo eyaculado.

A través de la TE se puede aumentar la capacidad de transferir características genéticas de hembras seleccionadas al permitir una mayor presión de selección. Adicionalmente, si la hembra es seleccionada tempranamente basado en la información de su pedigrí o de sus hermanas, el avance genético se acelera al acortar el intervalo entre generación. Puede ser aplicada conjuntamente con otras tecnologías de selección, como marcadores genéticos, colección de ovocitos guiada por ultrasonido y fertilización *in vitro* y fertilización con semen sexado reduciendo el intervalo entre generaciones aún más. Como regla general, los animales seleccionados deben ser no más del 30 de las mejores hembras del hato, e idealmente deben ser sólo el 10 % superior.

Con respecto al uso de la TE en programas de conservación, por lo anteriormente explicado, su aplicación en bancos de germoplasma es mucho menor (menos del 5 % con respecto al semen), aunque existe consenso a nivel global de la importancia de incrementar el porcentaje de conservación en forma de embriones en los bancos de germoplasma.

Una cantidad importante de investigaciones se han realizado en torno a mejorar la calidad, pero sobre todo la cantidad de embriones potencialmente viables que es capaz de producir una hembra en un lapso de tiempo. Los protocolos modernos de superovulación incluyen la sincronización del desarrollo folicular para hacer coincidir el inicio del tratamiento superovulatorio con la emergencia de la oleada de desarrollo folicular. La manera en que se controla el desarrollo folicular puede ser por destrucción directa del folículo por aspiración guiada por ultrasonido o el uso de progesterona y estradiol para causar su atresia. Con estos nuevos protocolos se ha mejorado la consistencia de las respuestas superovulatorias y en menor grado la producción de embriones; sin embargo, el número de embriones susceptibles de ser congelados por tratamiento de superovulación no ha cambiado mucho en los últimos 20 años. En promedio se obtienen 5 embriones congelables por tratamiento superovulatorio y 50 % de gestación después de su transferencia. En lo que se refiere a incrementar el número de superovulaciones y sus respectivas colectas embrionarias que se pueden dar en un lapso determinado de tiempo, se ha generado una tecnología denominada reciclado rápido de donadoras que ha permitido reducir de 60-70 a 33-35 el intervalo entre tratamientos de superovulación sin reducir la respuesta ovulatoria hasta en 18 tratamientos consecutivos, ofreciendo la posibilidad de casi duplicar la producción de embriones

congelables por vaca por año. La producción *in vivo* de embriones se realiza con mayor o menor eficiencia en las diferentes especies de mamíferos domésticos y la posterior criopreservación de los embriones es también un procedimiento rutinario, realizado por el método de congelación lenta y más recientemente por el método de vitrificación.

Se ha demostrado que existen diferencias de acuerdo al estado de desarrollo y tipo de embriones en cuanto a la sensibilidad a la crioconservación; embriones en estadios de desarrollo temprano y producidos *in vivo* resisten mejor el proceso, comparados con los embriones en estadios tardíos y producidos *in vitro*, por lo que existe todavía el reto de establecer protocolos que funcionen efectivamente para los diferentes tipos de embriones.

La sociedad internacional de transferencia de embriones (IETS) reportó en 2013 de acuerdo a los datos obtenidos, que en México se realizaron 986 colectas de embriones y se transfirieron 5,919 embriones, incluyendo ganado lechero y de carne.

A pesar de sus limitantes en cuanto a amplificación de la capacidad reproductiva de vacas donadoras, la TE es la manera más segura para la transportación, introducción y propagación de nuevas razas o líneas genéticas.

### V.3.2.3.1 PRODUCCIÓN *IN VITRO* DE EMBRIONES

La producción de embriones *in vitro* (PEIV) consiste en la obtención de óvulos directamente de los ovarios de las hembras. Posteriormente, los ovocitos son madurados y fertilizados en el laboratorio y los cigotos (ovocitos fertilizados) son cultivados hasta que alcancen el desarrollo necesario (mórula o blastocisto) para ser transferidos a una vaca que llevará la gestación hasta el nacimiento del becerro. Los ovocitos pueden ser obtenidos de ovarios de animales sacrificados, o bien ser extraídos de animales vivos por medio de aspiración de ovocitos guiada por ultrasonido.

Cuando los ovocitos son obtenidos de animales sacrificados en rastro se logra la producción de embriones a un costo muy barato. Sin embargo, tiene la desventaja de que en la mayoría de los casos no se tiene control del estado de desarrollo folicular así como de la genética de las madres y existe la posibilidad de transmisión de enfermedades. Alternativamente, si los ovocitos son obtenidos de animales vivos se logran muchas ventajas, empero el costo de mantenimiento de la infraestructura de laboratorio y de animales puede ser prohibitiva.

En la colección de ovocitos guiada por ultrasonido (oocyte pick-up, OPU), el ovocito es extraído directamente del folículo ovario a través de la punción del folículo y aspiración de su contenido. Esta hace posible la obtención de ovocitos de hembras seleccionados antes de que alcancen su madurez sexual e inicien su vida reproductiva. Se han logrado colección de ovocitos y gestaciones de becerras de tan solo 6 semanas de edad. También permite la colección de ovocitos durante casi toda la vida del animal, incluyendo etapas iniciales de la gestación. Con esto se logra obtener crías de estos animales acortando aún más los intervalos entre generaciones y diseminar avances genéticos más rápidamente.

La OPU y PEIV son técnicas validadas para el bovino que conjuntamente superan a la superovulación in vivo en cuanto a la capacidad de producción de embriones. La producción *in vitro* de embriones ha tenido un “boom” en años recientes. Principalmente en Brasil donde en el 2009 el 85 % de los embriones fueron producidos por técnicas in vitro, que equivalen al 50 % de los embriones producidos in vitro a nivel mundial. El éxito de la tecnología en Brasil incentivó a empresas Brasileñas a establecerse en México en forma independiente o asociada con agrupaciones ganaderas nacionales. Sin embargo, la producción de embriones en México no ha tenido el desarrollo que se logró en Brasil debido a las diferencias de la producción ganadera entre estos dos países: 1) Demanda, previo a despegue de la PEIV, en Brasil existía un mercado muy dinámico que demandaba la producción y venta de embriones producidos in vivo, y su éxito se basó en altos volúmenes de producción de embriones a precios bajos. 2) Razas, para mantener altas producciones a bajo costo se depende de un alto número de ovocitos recuperados por sesión. El hato brasileño se compone predominantemente de ganado cebú y sus cruza. El promedio de ovocitos recuperados por sesión de OPU es de 20 (rango 15 a 24) para ganado cebú, en cambio para ganado europeo es de tan sólo 6 o 7. En cuanto al promedio de gestaciones en razas cebuinas se obtienen 2.7 gestaciones por sesión de OPU, tres veces más de lo que se obtiene para ganado europeo. Esta diferencia entre la fisiología del ganado cebú y ganado europeo explican en parte por qué la PEIV no ha tenido el desarrollo comercial en Europa y Norte América como lo tuvo en Brasil. 3) Escala, ya que La PEIV puede producir grandes cantidades de embriones, sin embargo la congelación disminuye su viabilidad, y los embriones son preferentemente transferidos frescos. Lo anterior demanda la presencia de un gran número de hembras vacías y preparadas para recibir los embriones producidos, requisito que sólo

puede ser logrado en explotaciones con un gran número de animales.

Las condiciones descritas impactan directamente en los costos de producción, y son importantes para que los costos de la PEIV sean accesibles y se genere la demanda. Actualmente, en los Estados Unidos la producción de embriones in vitro resulta más costosa que la producción de los mismos in vivo. Es difícil, que la infraestructura de laboratorio y la experiencia técnica pueda ser sustentada en forma particular; sin embargo, las potenciales ventajas que se logran con la PEIV pueden incentivar a asociaciones ganaderas para que conjuntamente hagan ajustes a sus organizaciones, y generen la demanda y las condiciones de disponibilidad de animales para la adopción de dicha tecnología.

Un hecho a resaltar es que los problemas asociados a las gestaciones de embriones producidos in vitro (síndrome del becerro gigante), que reducen significativamente la sobrevivencia perinatal de las crías, no se presentan en razas *indicus*, por lo que las regiones tropicales presentan una ventaja competitiva para la aplicación de esta tecnología. Por el contrario, cuando se pretende la criopreservación de estos embriones, se presenta la dificultad de obtener adecuadas tasas de sobrevivencia embrionaria después de la criopreservación; lo anterior debido a que el embrión producido *in vitro* presenta anomalías morfológicas y fisiológicas, entre las que destaca una excesiva acumulación de lípidos intracitoplasmáticos con un efecto directo en la resistencia del embrión al proceso de criopreservación. Este efecto es muy marcado en animales *Bos taurus indicus*. Esta limitante se está tratando de resolver desde dos perspectivas. En primera instancia, con el desarrollo de medios para la maduración, fertilización y cultivo in vitro de óvulos y embriones que son completamente definidos, es decir, que no contienen componentes de origen animal que necesariamente vienen con otros compuestos indisociables de los compuestos útiles para los óvulos o embriones; esto no solamente presenta la ventaja de asegurar la calidad sanitaria de los embriones que se producen, sino que reduce considerablemente la acumulación de lípidos en el embrión. En segundo lugar, con la utilización del método de vitrificación para criopreservar los embriones, esta técnica ofrece una alternativa para mantener la viabilidad de embriones producidos in vitro después de la criopreservación, en comparación con el método de congelación lenta. En la actualidad no se cuenta con un método de vitrificación con el que se pueda realizar la transferencia directa del embrión a nivel de campo.

En la actualidad en México sólo existen dos compañías que ofrecen los servicios de producción de embriones bovinos *in vitro*. En cuanto a instituciones de investigación y de educación superior, la producción *in vitro* de embriones bovinos se realiza con fines de investigación, siendo ésta en su mayoría a partir de ovarios de rastro. Según la IETS en el año 2013, en México se obtuvieron 7,500 ovocitos mediante OPU, a partir de los cuales se produjeron 2,500 embriones que en su totalidad fueron transferidos. En cuanto a los embriones producidos a partir de ovarios de rastro, se colectaron 7,103 ovocitos, se produjeron 1,881 embriones y se transfirieron 1,879.

En cuanto a la técnica OPU, su éxito depende de dos grupos de factores: técnicos y biológicos. Los factores técnicos incluyen método de contención, procedimiento de aspiración, tipo de aguja, diámetro de la aguja, bisel de la aguja y presión de aspiración. Para desarrollar esta técnica se requiere que el animal se mueva lo menos posible, ya que esto puede generar pérdidas de ovocitos y traumatismos tanto en ovario como en útero y vagina. En cuanto al procedimiento se debe de puncionar sólo la corteza del ovario, penetrando lo menos posible el estroma ovárico. Las agujas más utilizadas son de calibre 18 a 21 G y de 1 ½ pulgadas de largo y de preferencia de bisel corto. La presión del vacío va de 50 a 100 mm Hg, dependiendo la edad del animal y número de procedimientos que ha recibido (OPU).

Los factores biológicos incluyen estimulación hormonal previa a la aspiración, el momento particular del ciclo estral, edad, raza, condición corporal, estado fisiológico de la donante y tipo de folículo a aspirar (folículo preovulatorio).

La frecuencia de aspiración es de 1 a 2 veces por semana en ganado *Bos taurus indicus* y de una vez por semana a cada 15 días en ganado *Bos taurus taurus* (sin estimulación hormonal).

Las complicaciones que puede tener esta técnica son principalmente: sangrados internos (cuando la donante tiene problemas de coagulación), fibrosis (ovarios y pared vaginal) y diseminación de enfermedades si es que no se utiliza camisa sanitaria, una aguja por vaca y no se desinfecta el equipo.

### V.3.2.4 ÓVULOS

La crioconservación de óvulos tiene la importancia estratégica de permitir, junto con la crioconservación de semen, la realización de cruzamientos programados con fines específicos, aun cuando los progenitores ya no estén disponibles. Esta opción

cobra mayor relevancia cuando se detecta un alto valor de la descendencia en una cruce específica de dos individuos. La crioconservación de ovocitos reviste importantes dificultades técnicas y es a la fecha una tecnología en constante desarrollo, por lo que es muy reducido el número de unidades de germoplasma actualmente conservadas en los bancos de germoplasma a nivel mundial.

Los ovocitos recuperados de ovarios procedentes del rastro o aspirados *in vivo* pueden ser crioconservados por periodos largos de tiempo para después ser utilizados en la producción de embriones *in vitro*. Como se ha observado con la disponibilidad de semen congelado, la crioconservación de ovocitos representa una oportunidad excelente para el posible intercambio de germoplasma nacional e internacional, evitando así riesgos sanitarios y lesiones innecesarias cuando se utiliza transporte de animales vivos.

Muchos han sido los esfuerzos para disminuir los daños que causa la congelación lenta convencional a los gametos. En el caso de los ovocitos no es la excepción, ya que son muy susceptibles a daños originados por la exposición prolongada a bajas temperaturas. Es por lo anterior que la vitrificación es la herramienta biotecnológica más adecuada, ya que elimina el uso de máquinas programables y permite mayores tasas de sobrevivencia al proceso. Por otra parte en esta técnica se usan altas concentraciones de crioprotectores que de alguna manera evitan la formación de cristales intracelulares. Esta técnica ha demostrado ser una herramienta efectiva en algunos estudios en ovocitos, y sin duda será la de elección tanto para estos como para embriones.

La vitrificación es el método de crioconservación que mejores resultados ha brindado en óvulos; este método requiere tiempos cortos de exposición a las sustancias crioprotectoras y una tasa de enfriamiento ultrarrápida (+2,000 °C/min). Diversos métodos se han ensayado con relativo éxito; sin embargo, todos ellos implican la exposición en mayor o menor grado al nitrógeno líquido, con la consecuente posibilidad de contaminación. El desarrollo de un método aséptico de vitrificación de ovocitos, sin que la muestra entre en contacto con el nitrógeno líquido es de vital importancia para la crioconservación de ovocitos sin que exista riesgo sanitario.

Apesar de los grandes avances en la crioconservación de ovocitos en la mayoría de mamíferos de interés zootécnico y de laboratorio, siguen existiendo muchas preguntas y los resultados no han sido tan halagadores como lo ha sido para semen y

embriones. Una de las causas de este hecho es por su compleja estructura y su alto contenido de lípidos. Aunque en los últimos cinco años se ha generado un gran número de referencias bibliográficas sobre el uso de la vitrificación de ovocitos, la mayoría de los autores coinciden en que todavía se requieren más investigaciones para determinar su efectividad en diferentes especies animales. Sin embargo entre las estrategias a utilizar para maximizar la viabilidad de los ovocitos se encuentra el uso de ovocitos inmaduros, estabilizantes del citoesqueleto (taxol, citocalasina B, docetaxel) y diferentes métodos de vitrificación (microgotas, columna de aire en microvolumen, superficie sólida, técnica capilar entre otros).

## V.4 PROSPECTIVA

### V.4.1 PERSPECTIVAS EN BIOTECNOLOGÍA REPRODUCTIVA

En capítulos anteriores se revisó el uso de tecnologías reproductivas que pueden aplicarse de manera extensiva. Entre éstas se encuentran la inducción y la sincronización de estros que puede mejorar las tasas de gestación y reducir los intervalos entre partos y la inseminación artificial que disemina características genéticas que se traducirán en mejores índices productivos para la explotación. Las tecnologías anteriores han sido ampliamente validadas y su beneficio demostrado ampliamente. Más allá de lo anterior, existen ya también tecnologías más vanguardistas para mejorar la producción de carne y leche, con un producto de mejor calidad y de forma más eficiente. En esta sección se revisarán las tecnologías reproductivas de reciente desarrollo y su potencial para aumentar la eficiencia reproductiva, productiva y facilitar el uso de selección genética de los bovinos.

Sin embargo, para lograr visualizar lo cercano que las tecnologías que revisaremos están de su aplicación práctica en nuestro país, es importante conocer el grado de penetración que las tecnologías reproductivas de uso estandarizado han tenido en los ranchos ganaderos del país. Datos obtenidos de una encuesta ganadera con cobertura nacional señalan que tan sólo el 1.5 % de las ganaderías utilizan inseminación artificial y tan solo el 5 % usa tecnologías para el control del ciclo estral. Las tecnologías que aquí discutimos exigen un buen manejo del ganado y experiencia en las tecnologías básicas, y aunque algunas de las tecnologías que describiremos son ya de uso común en otros países, en nuestro país deben superarse factores

técnicos, económicos y logísticos que han detenido el uso de las tecnologías más básicas como las ya mencionadas.

Se pueden dividir las tecnologías reproductivas en dos grandes categorías. Aquéllas que buscan mejorar la eficiencia biológica de la especie y las que buscan facilitar la introducción y diseminación de mejoras genéticas en la población.

### V.4.2 TECNOLOGÍAS QUE MEJORAN LA EFICIENCIA BIOLÓGICA

Los bovinos son un recurso invaluable para la agricultura sustentable por su habilidad de transformar recursos biológicos vegetales y subproductos agrícolas en proteína para el consumo humano de alta calidad. Sin embargo el sistema de vaca-cría tiene una baja eficiencia biológica debido al alto costo de mantenimiento del hato reproductivo y su baja tasa reproductiva. El alimento requerido por la vaca para producir un becerro para la venta representa del 50 al 80 % del requerimiento total de alimento del periodo. La cría es la única fuente de ingreso en el ganado productor de carne, y la eficiencia biológica se refleja más claramente en el número de crías destetadas por hembra por año. Luego entonces la eficiencia en el hato aumenta al maximizar la fertilidad, y puede ser mejorada aún más si se incrementa el número de crías, por ejemplo induciendo partos gemelares. Hay dos formas en la que se puede aumentar el número de crías por gestación:

#### Uso de líneas genéticas seleccionadas para partos gemelares

La selección para animales con prolificidad aumentada ha rendido frutos alentadores y ha demostrado que a través de la selección genética se pueden crear líneas de alta prolificidad. El trabajo más reconocido, es el que se realizó en el "Centro de Investigación de Animales Productores de Carne (US Meat Animal Research Center; USMARC). En dicho centro se realizó la selección genética para tasa ovulatoria y llevó a una línea de ganado bovino de tener una incidencia de 3.1 % de partos gemelares al principio de la década de los 80s a 55 % de partos gemelares con una tasa ovulatoria de 1.8 en el 2004. La fertilidad a la inseminación artificial de las vacas con ovulaciones dobles fue de 64 % y la tasa de parición después de la época de empadre fue en todos los casos superior al 80 %. Estudios han demostrado un aumento del 70 % en el número de becerros, que representa un aumento de 48 % en el total de kilogramos de becerro destetados en las vacas que tienen gemelos,

comparado con aquéllas que sólo tuvieron una cría. Actualmente, existen dos fuentes de semen de líneas prolíficas de bovinos: USMARC (Nebraska, E.U.) y AgResearch (Nueva Zelanda). Sin embargo, debe de ser notado que los toros de las líneas prolíficas han sido seleccionados exclusivamente por su capacidad de producir hijas cuateras y no han sido seleccionados para ninguna otra característica productiva. Además, debe tenerse en cuenta que la parición de becerros gemelares se asocia a un aumento en la incidencia de pérdidas de gestación, distocias, muertes perinatales, retención placentaria y aumento en los días abiertos que incrementan el manejo y los costos en la producción.

El aumento en la prolificidad por medio de la selección genética logra mayor rentabilidad del hato. Sin embargo, sería deseable que la parición de gemelos fuera un método opcional para que el ganadero pueda determinar el número de animales que desea destinar para tener gestaciones dobles y el momento en que dichas gestaciones son bienvenidas.

### **Gestaciones dobles por transferencia de embriones**

En ganado bovino el método más comúnmente reportado para inducir gestaciones dobles es la transferencia de embriones. La producción de partos dobles por medio de transferencia de embriones tiene las ventajas de poder controlar del número exacto de fetos, control exacto de la fecha de concepción y de parto, control del genotipo y potencialmente control del sexo de las crías (evitando free-martinismo).

Los métodos más usados para obtener gestaciones dobles por transferencia de embriones son: la transferencia de dos embriones, la transferencia de un embrión que ha sido bipartido (clones reales) y la transferencia de un embrión en el día 7 a una vaca que ha sido inseminada y que probablemente está gestante con un embrión propio. Los resultados de esta metodología han sido variables y dependen mucho del nivel de tecnificación y manejo del hato. Sin embargo, se han logrado tasas de gestación de 55 %, con 60 % de las vacas gestantes con dos fetos. La principal limitante de esta tecnología es la baja eficiencia de la producción in vivo de embriones, y para que esta tecnología sea sustentable se requiere que los costos de producción y transferencia de embriones sean optimizados. No obstante, la producción de embriones in vitro puede reanimar el interés de la transferencia de embriones múltiple. En México en el estado de Chiapas, se han realizado trabajos a baja escala

utilizando la transferencia de dos embriones sexados producidos in vitro (a partir de ovarios de rastro) en vacas con encaste cebuino, con resultados de 56 % de gestación y 30 % de partos gemelares.

Otras estrategias nutricionales e inmunológicas han sido utilizadas con éxito en ovinos para aumentar la tasa ovulatoria y prolificidad. Sin embargo, debido a diferencias en la fisiología ovárica y de la gestación, estas estrategias no son directamente transferibles al ganado bovino. No obstante, estudios preliminares recientes indican que es posible el desarrollo de un método para aumentar la tasa ovulatoria en vacas de forma controlada que no produzca estimulación ovárica excesiva y superovulación. El desarrollo de métodos de bajo costo, de efecto inmediato y de fácil aplicación hará posible que sea evaluada por los ganaderos y su posible adopción para aumentar la eficiencia de los hatos de cría.

En todo caso, antes de considerar la adopción de cualquiera de las tecnologías mencionadas para aumentar la frecuencia de partos gemelares debe considerarse que los partos gemelares se asocian a un incremento en la mortalidad de becerros, distocia, retención placentaria, mayor intervalo entre partos y abandono de crías. Además la demanda de alimento de la vaca criando dos becerros aumenta y por ello esta tecnología sólo debe considerarse en unidades de producción con disponibilidad de alimento suficiente a lo largo del año. Es de esperarse, que como sucede para los ovinos, la producción de partos gemelares en bovinos será económicamente benéfica dentro de límites definidos de producción, después de los cuales el beneficio se reduce debido al aumento en los costos de mano de obra y debe evaluarse si el posible beneficio sobrepasa los costos asociados a los partos dobles.

Después de la eficiencia reproductiva, todas las otras características del hato son negociables pero deben de adaptarse al mercado que abastecen, y por otro lado aprovisionar al animal con características de adaptabilidad para desarrollarse adecuadamente en el medio ambiente en el cual vivirá. Luego entonces la selección de la raza o cruce es de suma importancia para lograr el mejor balance entre eficiencia biológica y económica.

### V.4.3 TECNOLOGÍAS QUE FACILITAN LA INTRODUCCIÓN Y DISEMINACIÓN DE MEJORAS GENÉTICAS EN LA POBLACIÓN

Existen muchos estudios donde se ha modelado la producción del sistema vaca-cría tomando como base la eficiencia en la producción de carne por unidad de alimento consumido o el costo de producción. Las variables asociadas a la productividad como son la producción de leche, el crecimiento y la eficiencia alimentaria son altamente importantes para mejorar la producción. Particularmente, se ha demostrado que el valor predicho de los sementales utilizados, tiene la calificación más alta entre los factores que afectan la eficiencia del sistema productivo, reduciendo el uso de tierra, agua y emisiones de gas invernadero. Esto nos indica, que al igual que la eficiencia reproductiva, el diseño genético del hato y la selección de los sementales debe recibir gran atención para lograr la mayor eficiencia productiva.

Las siguientes tecnologías son tecnologías de aplicación individual, sin embargo cuando son usadas para la multiplicación de animales y líneas fundadoras pueden ayudar a la introducción y rápida diseminación de características genéticas deseables al hato comercial. Importantemente, las tecnologías para diseminar las mejoras genéticas pueden ser utilizadas en forma combinada obteniendo resultados más acelerados que si se utilizan de forma separada.

#### Transferencia de embriones

(Ver en Tecnologías para obtención, manipulación, procesamiento y conservación de gametos y embriones)

#### Producción de embriones in vitro

(Ver en Tecnologías para obtención, manipulación, procesamiento y conservación de gametos y embriones)

#### Semen sexado

(Ver en Tecnologías para obtención, manipulación, procesamiento y conservación de gametos y embriones)

#### Clonación

La clonación por transferencia nuclear consiste en introducir el material genético de una célula donadora al citoplasma de un ovocito cuyo DNA nuclear ha sido removido. Generalmente el ovocito

está madurado en la etapa de Meiosis II. Después de la transferencia del núcleo, el ovocito es activado y su citoplasma es capaz de reprogramar el nuevo DNA para lograr el desarrollo de un embrión. La clonación fue primeramente realizada en borregos y poco tiempo después en ratones, bovinos, equinos, cerdos, perros e incluso primates. No obstante, la eficiencia de la clonación es extremadamente baja (menor a 3 %) y costosa, por lo que esta tecnología parece seguirá en un futuro mediato teniendo un nicho muy específico para la generación de animales de muy alto valor comercial. Significativamente la clonación por transferencia nuclear se puede utilizar para la generación de células madres con fines terapéuticos, y para la introducción de modificaciones genéticas a animales fundadores después de que dichas modificaciones se han establecido por transfección de células en cultivo.

#### Ingeniería genómica

En otra sección que acompaña a este documento se revisaron los avances que se están teniendo en la identificación de secuencias génicas que controlan las características fenotípicas de interés en producción de carne y leche de bovinos. Debido al alto número de cambios en las bases deoxiribonucleicas de las secuencias de DNA que probabilísticamente se asocian a características productivas, el rol específico de cada uno de los genes involucrados no puede ser determinado. La ingeniería genética permite ahora la edición puntual de estos genes de manera sistemática para estudiar dicha función. Una vez que se conocen las secuencias de DNA asociadas a características productivas mejoradas, se puede editar el gen de animales no portadores para que desplieguen esa característica (por ejemplo, a un animal adaptado a un medio ambiente hostil se le pueden incorporar características de alta productividad, o a un animal altamente productivo se le puede incorporar la característica de resistencia a parásitos). Lo anterior parecería más tema de una historia de ciencia ficción. Sin embargo, avances en la ingeniería genética en los últimos tres años ha hecho posible la edición de genes con la eficiencia y especificidad que nunca antes se había logrado.

La ingeniería genética consiste en hacer modificaciones en el genoma ya sea por inserción, delección o modificación de las secuencias de DNA. La ingeniería genética ha sido utilizada principalmente en investigación permitiendo el descubrimiento del funcionamiento de genes específicos y de sus elementos regulatorios. Cambios en el genoma pueden cambiar la arquitectura del DNA, o de los productos proteicos a los que codifica, estimulando la generación de nuevos procesos terapéuticos.

Inicialmente, los animales transgénicos se producían por la microinyección de las secuencias de DNA deseadas al pronúcleo de cigotos, con la esperanza de que el DNA-introducido se incorporase en el DNA del cigoto. Esta tecnología tenía muchas desventajas y su eficiencia era alrededor de 2%. Muchos son los factores que contribuían a la baja eficiencia, entre ellos la incorporación del DNA ocurría en forma aleatoria en DNA génico. Se conocía sin embargo, que el sitio de incorporación, aunque no se podía controlar, podía alterar la expresión de la secuencia introducida. Esta metodología fue posteriormente reemplazada por transfección de DNA a células en cultivo y la utilización de estas células transfectadas con el DNA de elección para la transferencia nuclear a ovocitos denucleados. La transfección de células *in vitro* permitía la selección de células que habían incorporado el DNA-introducido, sin embargo la baja eficiencia de la transferencia nuclear seguía limitando la eficiencia del sistema. En los últimos diez años la recombinación homóloga y sistemas de ingeniería genética que logran la incorporación del DNA en sitios específicos del genoma mejoraron aún más la producción de transgénicos y forman la base de las terapias génicas existentes (Talen y ZnF). Estos sistemas siguen utilizándose pero son de diseño laborioso y costoso.

En los últimos tres años se ha desarrollado una tecnología basada en el sistema inmune de organismos procariotes. Las bacterias tienen un mecanismo para reconocer el DNA viral que ha infectado a la célula y eliminarlo cuando el DNA viral es localizado. Investigadores han cambiado este sistema para reconocer secuencias de DNA específicas a las que se quiera editar. El sistema después de localizar la secuencia específica puede cortarla, editarla, o removerla e insertar una nueva (CRISPR-CAS9). Esta tecnología es altamente poderosa y como ejemplo de lo que con ella se puede lograr es la generación de cerdos donadores de órganos para humanos, a los que se les ha quitado genes que codifican para moléculas que causarían rechazo inmune y adenovirus endógenos del cerdo. En ganado se pueden generar animales sin cuernos, más musculosos, o capaces de sintetizar glucosa a partir de acetato. También se puede tener animales que produzcan proteínas farmacéuticas para enfermedades humanas como albumina, factor de la coagulación, o anticuerpos humanizados, etc.

En resumen, la investigación científica ha desarrollado tecnologías que logran nuevas formas de producción, la identificación temprana de animales superiores y métodos acelerados de selección y finalmente de transmisión de dichas

características a poblaciones animales. Todas las tecnologías mencionadas son ya una realidad y en un futuro próximo repercutirán en la eficiencia productiva del ganado y seguramente en el manejo de los animales y los ranchos. También es importante tener en cuenta de lo rápido que los nuevos descubrimientos pueden ahora ser llevado a la práctica. Durante la escritura de esta revisión se informó de la producción *in vitro* de espermatozoides humanos. El grupo de investigación que realizó esta investigación ya había previamente producido espermatozoides de rata y monos. No es exagerado pensar que en un futuro se produzcan espermatozoides de bovinos en forma masiva *in vitro*, y que estos sean de un sexo y características genéticas determinadas para su utilización en inseminación artificial.

## V.5 LITERATURA CONSULTADA

Abeygunawardena H, Dematawewa CMB. Pre-pubertal and postpartum anestrus in tropical Zebu cattle. *Anim Reprod Sci* 2004;82–83:373–387.

Aires VA, Hinsch KD, Mueller-Schloesser F, Bogner K, Mueller-Schloesser S, Hinsch E. *In vitro* and *in vivo* comparison of egg yolk-based and soybean lecithin-based extenders for cryopreservation of bovine semen. *Theriogenology* 2003;60:269-79.

Andreussi PAT, Costa DS, Faria FJC, Fernandes CAC, Guimarães JD. Efficiency of the spermatogenesis in Zebu bulls (*Bos taurus indicus*). *Anat Histol Embryol* 2014; 43:133-140.

Andreussi PAT, Costa DS, Faria FJC, Fernandes CAC, Santos MD, Silva JCB. Testicular histomorphometric evaluation of Zebu bull breeds. *Braz Arch Biol Technol* 2014; 57:900-907.

Aponte PM, De Rooij DG, Bastidas P. Testicular development in Brahman bulls. *Theriogenology* 2005;64:1440-1455.

Assumpcao TI, Fontes W, Sousa MV, Ricart CAO. Proteome Analysis of Nelore Bull (*Bos taurus indicus*) Seminal Plasma. *Protein & Peptide Letters* 2005;12(8):813–817. <http://doi.org/10.2174/0929866054864292>.

Baruselli PS, Batista EOS, Vieira LM, Souza AH. Manipulation of follicular dynamics to optimize oocyte quality and fertility. *Memorias del 1er Simposio Internacional de Avances en Reproducción Bovina* 2015; Guadalajara, México.

- Baruselli PS, Reis EL, Marques MO, Nasse LF, Bó GA. The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrous beef cattle in tropical climates. *Animal Reproduction Science* 2004;82-83:479-486.
- Bastidas P, Silva O, Guerrero N, Troconiz J. Field reproductive potential evaluation of Brahman bulls. *Arch Latinoam Prod Anim* 1997;5:335-337.
- Berry DP, Meade KG, Mullen MP, Butler S, Diskin MG, Morris D, Creevey CJ. The integration of "omic" disciplines and systems biology in cattle breeding. *Animal* 2011; 5(04):493-505. <http://doi.org/10.1017/S1751731110002120>.
- Berry DP, Wall E, Pryce JE. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. *Animal* 2014; 8(s1):105-121. <http://doi.org/10.1017/S1751731114000743>.
- Bó GA, Cutaia LE, Souza AH, Baruselli ES. Actualización sobre protocolos de AITF en bovinos de leche utilizando dispositivos con progesterona. *Taurus, Bs, As* 2009; 11(41):20-34.
- Boe-Hansen GB, Rego JPA, Crisp JM, Moura AA, Nouwens AS, LiY, et al. Seminal plasma proteins and their relationship with percentage of morphologically normal sperm in 2-year-old Brahman (*Bos taurus indicus*) bulls. *Anim Reprod Sci* 2015;0(0). <http://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.09.003>.
- Bols P. Punción folicular (ovum pick up, OPU) en la vaca. *Biocología de la Reproducción*. Ed. INTA, Balcarce, Argentina 2001;185-224.
- Bovine Genome Sequencing and Analysis Consortium, Elsik CG, Tellam RL, Worley KC, Gibbs RA, Muzny DM, et al. The genome sequence of taurine cattle: a window to ruminant biology and evolution. *Science (New York, N.Y.)* 2009; 324(5926):522-528. <http://doi.org/10.1126/science.1169588>.
- Brito LFC, Silva AEDF, Barbosa RT, Kastelic JP. Testicular thermoregulation in *Bos indicus*, crossbred and *Bos taurus* bulls: relationship with scrotal, testicular vascular cone and testicular morphology, and effects on semen quality and sperm production. *Theriogenology* 2004;61:511-528.
- Brito LFC, Silva AEDF, Rodrigues LH, Vieira FV, Deragon LAG, Kastelic JP. Effect of age and genetic group on characteristics of the scrotum, testes and testicular vascular cones, and on sperm production and semen quality in AI bulls in Brazil. *Theriogenology* 2002;58:1175-1186.
- Brito LFC, Silva AEDF, Unanian MM, Dode MAN, Barbosa RT, Kastelic JP. Sexual development in early- and late-maturing *Bos indicus* and *Bos indicus* x *Bos Taurus* crossbred bulls in Brazil. *Theriogenology* 2004;62:1198-1217.
- Brito LFC. Puberty in bulls. In: Hopper RM editor. *Bovine Reproduction*, 1st ed. John Wiley & Sons, USA; 2015:41-57.
- Calderon RR, Villa GA, Lagunes LJ, Fajersson P. Desarrollo follicular en vaquillas Cebú y Suizo Pardo peripúberes en condiciones tropicales. *Téc Pecú Méx* 2000; 38(3):163-175.
- Cánovas A, Reverter A, DeAtley KL, Ashley RL, Colgrave ML, Fortes MRS, Islas-Trejo A, et al. Multi-tissue omics analyses reveal molecular regulatory networks for puberty in composite beef cattle. *PloS One* 2014;9(7):1-17.
- Carvalho PD, Souza AH, Amundson MC, Hackbart KS, Fuenzalida MJ, Herlihy MM, Ayres H, et al. Relationships between fertility and postpartum changes in body condition and bodyweight in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2014;97:1-18.
- Chase CC, Jr., Chenoweth PJ, Larsen RE, Olson TA, Hammond AC, Menchaca MA, Randel RD. Growth and reproductive development from weaning through 20 months of age among breeds of bulls in subtropical Florida. *Theriogenology* 1997;47:723-745.
- Chenoweth PJ. Impulso sexual del toro y comportamiento reproductivo. In: *Topics in Bull Fertility*. Publisher: International Veterinary Information Service, Ithaca, New York, USA. 2003.
- CONARGEN. Programa Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios. Documento Corporativo del Consejo Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios, México, D.F. 1999; Disponible en <http://www.conargen.mx/index.php/acerca-del-conargen/documentos-corporativos> al 17 de marzo del 2014.
- Corbet NJ, Burns BM, Johnston DJ, Wolcott ML, Corbet DH, Venus BK, et al. Male traits and herd reproductive capability in tropical beef cattle. 2. Genetic parameters of bull traits. *Anim Prod Sci* 2012; 53(2):101-113. <http://doi.org/10.1071/AN12163>.
- De La Torre SJF, Gardner DK, Preis K, Gibbons J, Seidel GE. Metabolic regulation of in-vitro-produced bovine embryos. II. Effects of phenazine ethosulfate, sodium azide and 2,4-dinitrophenol during post-compaction development on glucose metabolism and lipid accumulation. *Reprod Fertility Develop* 2006;18:597-607.

- Echternkamp SE, Cushman RA, Allan MF, Thallman RM, Gregory KE. Effects of ovulation rate and fetal number on fertility in twin-producing cattle. *J Anim Sci* 2007; 85:3228-3238.
- FAO. Cryoconservation of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health Guidelines Nº 12 2012; Rome, Italy.
- FAO. For a world without hunger 2104; <http://www.fao.org/ag/save-and-grow/en/1/index.html>.
- Feugang JM, Rodriguez-Osorio N, Kaya A, Wang H, Page G, Ostermeier GC, et al. 2010. Transcriptome analysis of bull spermatozoa: implications for male fertility. *Reprod Biomed Online* 2010; 21(3):312–324. <http://doi.org/10.1016/j.rbmo.2010.06.022>.
- Fortes MRS, Lehnert SA, Bolormaa S, Reich C, Fordyce G, Corbet NJ, et al. Finding genes for economically important traits: Brahman cattle puberty. *Anim Prod Sci* 2012a; 52(3):143–150. <http://doi.org/10.1071/AN11165>.
- Fortes MRS, Reverter A, Hawken RJ, Bolormaa S, Lehnert SA. Candidate Genes Associated with Testicular Development, Sperm Quality, and Hormone Levels of Inhibin, Luteinizing Hormone, and Insulin-Like Growth Factor 1 in Brahman Bulls. *Biol Reprod* 2012b;87(3):58–58. <http://doi.org/10.1095/biolreprod.112.101089>.
- Fortes MRS, Lehnert BSA, Bolormaa S, ReichC, Fordyce G, Corbet NJ, Whan V, Hawken RJ, Reverter AE. Finding genes for economically important traits: Brahman cattle puberty. *Anim Prod Sci* 2012c;52:143-150.
- Fortes MRS, Li Y, Collis E, Zhang Y, Hawken RJ. The IGF1 pathway genes and their association with age of puberty in cattle. 2012; DOI: 10.1111/j.1365-2052.2012.02367.x
- Fortes MRS, Porto-Neto LR, De Atley KL, Reverter A, Thomas MG, Moore SS, Lehnert SA, Snelling WM. 2014. Genetic markers in transcription factors of differentially expressed genes associated with post-partum anoestrus predict pregnancy outcome in an independent population of beef cattle. *Proc 10th World Cong Genetics Appl to Livest Prod* 2014; [https://asas.org/docs/default-source/wcgalp-proceedings-oral/250\\_paper\\_10277\\_manuscript\\_1281\\_0.pdf?sfvrsn=2](https://asas.org/docs/default-source/wcgalp-proceedings-oral/250_paper_10277_manuscript_1281_0.pdf?sfvrsn=2).
- Frisch JE, Vercoe JE. An analysis of growth of different cattle genotypes reared in different environments. *J Agric Sci* 1984;103:137-153.
- Funston RN, Summers AF. Epigenetics: Setting up lifetime production of beef cows by managing nutrition. *Annual Rev Anim Biosci* 2013;1:339–363.
- Galina CS, Arthur GH. Review of cattle reproduction in the tropics. Part 1. Puberty and age at first calving. *Anim Breed Abstr* 1989a;57:583–590.
- Galina, C.S., Arthur, G.H. Review of cattle reproduction in the tropics. Part 2. Parturition and calving intervals. *Anim Breed Abstr* 1989b;57:680–686.
- Galina CS, Arthur GH. Review of cattle reproduction in the tropics. 3. Puerperium. *Anim Breed Abstr* 1989c;57:889-910.
- Garner DL. 2001. Sex-Sorting Mammalian Sperm: Concept to Application in Animals. *J Andrology* 2001;22(4):519-26.
- Garner DL, GE Seidel Jr. History of commercializing sexed semen for cattle. *Theriogenology* 2008;69:886-895.
- Gaviraghi A, Deriu F, Soggiu A, Galli A, Bonacina C, Bonizzi L, Roncada P. Proteomics to investigate fertility in bulls. *Vet Res Communications*, 2010;34(1):33-36. <http://doi.org/10.1007/s11259-010-9387-0>.
- Green RD, Qureshi MA, Long JA, Burfening PJ, Hamernik DL. Identifying the future needs for long-term USDA efforts in agricultural animal genomics 2007;(3):185-191. *Int J Biol Sci*. Ivyspring International Publisher.
- Hansen PJ. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim Reprod Sci* 2004;82–83:349–360.
- Hasler JF. The current status and future of commercial embryo transfer in cattle. *Anim Reprod Sci* 2003;79:245-264
- Hasler JF. The Holstein cow in embryo transfer today as compared to 20 years ago. *Theriogenology* 2006 65:4-16.
- Hasler JF. Synthetic media for culture, freezing and vitrification of bovine embryos. *Reprod Fertility Develop* 2010;22:119-125.
- Hawken EJ, Zhang YD, Fortes MR, Collis E, Barris WC, Corbet NJ, Williams PJ, et al. Genome-wide association studies of female reproduction in tropically adapted beef cattle. *J Anim Sci* 2012;90:1398-1410.

- Hayes BJ, Lewin HA, Goddard ME. The future of livestock breeding: genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. *Trends in Genetics* 2013;29(4):206–214. <http://doi.org/10.1016/j.tig.2012.11.009>.
- Humblot P, Le Bourhis D, Fritz S, Colleau JJ, Gonzalez C, Guyader Joly C, et al. Reproductive Technologies and Genomic Selection in Cattle. *Vet Medicine Int* 2010; 4:1-8. <http://doi.org/10.4061/2010/192787>.
- Jingwen Niu, Bin Zhang, Hu Chen. Applications of TALENs and CRISPR/Cas9 in Human Cells and Their Potentials for Gene Therapy. *Mol Biotechnol* 2014; 56:681-688.
- João Henrique Moreira Viana, Luiz Gustavo Bruno Siqueira, Miller Pereira Palhão & Luiz Sérgio de Almeida Camargo. Use of in vitro Fertilization Technique in the Last Decade and its Effect on Brazilian Embryo Industry and Animal Production. *Acta Scientiae Veterinariae* 2010;38(Supl 2):s661-s674.
- Johnston DJ, Barwick SA, Corbet NJ, Fordyce G, Holroyd RG, Williams PJ, Burrow HM. Genetics of heifer puberty in two tropical beef genotypes in Northern Australia and associations with heifer- and steer-production traits. *Anim Prod Sci* 2009; 49:399-4.
- Johnston DJ, Barwick SA, Fordyce G, Holroyd RG. Understanding the genetics of lactation anoestrus in Brahman beef cattle to enhance genetic evaluation of female reproductive traits. 9th World Congress Genetics Appl Livest Prod 2010. <http://agbu.une.edu.au/publications/9wcgalp/Johnston0923.pdf>.
- Johnston DJ, Tier B, Graser HU. Beef cattle breeding in Australia with genomics: opportunities and needs. *Anim Prod Sci* 2012;52(3):100–106. <http://doi.org/10.1071/AN11116>
- Johnston DJ, Corbet NJ, Barwick SA, Wolcott ML, Holroyd RG. Genetic correlations of young bull reproductive traits and heifer puberty traits with female reproductive performance in two tropical beef genotypes in northern Australia. *Anim Prod Sci* 2013; 54(1):74–84. <http://doi.org/10.1071/AN13044>.
- Kadarmideen HN, Rohr von P, Janss LLG. 2006. From genetical genomics to systems genetics: potential applications in quantitative genomics and animal breeding. *Mammalian Genome* 2006; 17(6):548–564. <http://doi.org/10.1007/s00335-005-0169-x>
- Kopeika J, Thornhill A, Khalaf Y. The effect of cryopreservation on the genome of gametes and embryos: principles of cryobiology and critical appraisal of the evidence. *Human Reprod Update* 2015;21(2):209-227.
- Larson JE, Lamb GC, Stevenson JS, Jhonson SK, Day ML, Geary TW, Kesler DJ, et al. JD. Synchronization of estrus in suckled beef cows for detected estrus and artificial insemination and timed artificial insemination using gonadotropin-releasing hormone, prostaglandin F2 and progesterone. *J Anim Sci* 2004;84:332-342.
- Ledda S, Leoni G, Bogliolo L, Naitana S. “Oocyte cryopreservation and ovarian tissue banking”. *Theriogenology* 2001;55(6):1359-1371.
- León VH, Ruiz HH, Ruiz MA. *Biología Reproductiva en Rumiantes*. 2da ed. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 2012.
- Li G, Peñagaricano F, Weigel KA, Zhang Y, Rosa G, Khatib H. Comparative genomics between fly, mouse, and cattle identifies genes associated with sire conception rate. *J Dairy Sci* 2012;95(10):6122–6129. <http://doi.org/10.3168/jds.2012-5591>.
- Lippolis JD, Reinhardt TA. CENTENNIAL PAPER: Proteomics in animal science. *J Anim Sci* 2008;86(9), 2430–2441. <http://doi.org/10.2527/jas.2008-0921>.
- Mapletoft RJ, Hasler JF. Assisted reproductive technologies in cattle: a review. *Sci Technol* 2005;24(1):393-403.
- Mapletoft RJ. Perspectives on bovine embryo transfer. In: WCDS *Advances in Dairy Technology* 2012; 24:83-93. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canadá.
- Maquivar M, Day ML. Estrategias nutricionales y hormonales para la inducción a la pubertad en novillas de carne y su impacto en la fertilidad. IX Simposium Internacional de Reproducción Animal-IRAC 2011;43-64.
- Mazur P, Leibo SP, Seidel GE. 2008. Criopreservación of the germplasm of animals used in biological and medical research: Importance, impact, status, and future directions. *Biol Reprod* 2008;78:2-12.
- Mellado M, F Coronel, A Estrada, FG Ríos. Fertility in Holstein x Gyr cows in a subtropical environment after insemination with Gyr sex-sorted semen. *Trop Anim Health Prod* 2010;42:1493-96.

- Michel T. The zootechnical applications of biotechnology in animal reproduction: current methods and perspectives. *Reprod Nutr Dev* 2005;45:235-242. DOI: 10.1051/rnd:2005016.
- Moisá SJ, Shike DW, Shoip L, Rodriguez-Zas SL, Loor J. Maternal plane of nutrition during late gestation and weaning age alter Angus x Simmental offspring longissimus muscle transcriptome and intramuscular fat. *Plos One* 2015; DOI:10.1371/journal.pone.0131478.
- Moore K, Thatcher WW. 2006. Major advances associated with reproduction in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2006;89(4):1254-1266. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72194-4](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72194-4).
- Moreira VJH, Bruno SLG, Pereira PM, Camargo LSA. Use of in vitro fertilization technique in the last decade and its effect on Brazilian embryo industry and animal production. *Acta Scientiae Veterinariae* 2010;38 (Suppl 2):661-664.
- Moura AA, Mayes J, Silva MM, Souza CEA, Holroyd R, Nouwens A, et al. Proteomics of seminal plasma from *Bos taurus indicus* bulls raised in Queensland-Australia. *Biol Reprod* 2010;83(Supp. 1).
- Nicolinim P, Carriquiry M, Meikle A. A polymorphism in the insulin-like growth factor 1 gene is associated with postpartum resumption of ovarian cyclicity in Holstein-Friesian cows under grazing conditions. *Acta Veterinaria Scandinavica* 2013;55:11.
- Nogueira GP. Puberty in South American *Bos indicus* (Zebu) cattle. *Anim Reprod Sci* 2004;82-83:361-372.
- Ozanam PF, Barcelos FG, Marin MC, Alvarenga MA, De Vita B, Trinquê C, Pouli-Filho JN, Dell'Aqua JA. Replacing egg yolk with soybean lecithin in the cryopreservation of stallion semen. *Anim Reprod Sci* 2011;129:73-77.
- Patrick D Hsu, Eric S Lander, Feng Zhang. Development and applications of CRISPR-Cas9 for genome engineering. *Cell* 2014;157:1262-1278.
- Peddinti D, Nanduri B, Kaya A, Feugang JM, Burgess SC, Memili E. Comprehensive proteomic analysis of bovine spermatozoa of varying fertility rates and identification of biomarkers associated with fertility. *BMC Systems Biology* 2008;2(1):19. <http://doi.org/10.1186/1752-0509-2-19>.
- Peñagaricano F, Weigel KA, Khatib H. Genome wide association study identifies candidate markers for bull fertility in Holstein dairy cattle. *Anim Genet* 2012; 43(s1):65-71. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2012.02350.x>.
- Peñagaricano F, Souza AH, Carvahlo PD, Driver AM, Rocio G, Hackbart KS, Luchini D, Shaver RD, Wiltbank MC, Khatib H. Effect of maternal methionine supplementation on the transcriptome of bovine preimplantation embryos. *PLoS One* 2013; 8:e72302 72301-72310.
- Pereira RM, Marques CC. "Animal oocyte and embryo cryopreservation," *Cell and Tissue Banking* 2008;9(4):267-277.
- Perry CG. Statistics of Embryo Collection and Transfer in Domestic Farm Animals. *International Embryo Transfer Society* 2015;1-13.
- Portillo GE, Bridges GA, de Araujo JW, Shawa MKV, Schrick FN, Thatcher WW, Yelich JV. Response to GnRH on day 6 of the estrous cycle is diminished as the percentage of *Bos indicus* breeding increases in Angus, Brangus, and Brahman x Angus heifers. *Anim Reprod Sci* 2005;103:38-51.
- Randel DE. Reproduction of *Bos indicus* breeds and crosses. *Proc Applied Reprod Strategies in Beef Cattle*, Nov. 12. Texas A&M University 2005; [http://beefrepro.unl.edu/proceedings/2005collegestation/06\\_tamu\\_bosindicus\\_randel.pdf](http://beefrepro.unl.edu/proceedings/2005collegestation/06_tamu_bosindicus_randel.pdf).
- Rego JPA, Crisp JM, Moura AA, Nouwens AS, Li Y, Venus B, et al. Seminal plasma proteome of electroejaculated *Bos taurus indicus* bulls. *Anim Reprod Sci* 2014; 148(1-2):1-17. <http://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.04.016>.
- Rohrer GA. An overview of genomics research and its impact on livestock reproduction. *Reprod Fertil Develop* 2004;16(2):47-54. <http://doi.org/10.1071/RD03077>.
- Romo GS, Ordóñez LEA, Peña VM, López BB, Esperón SAE, et al. Partos gemelares en vacas por transferencia de dos embriones de sexo femenino producidos por fertilización in vitro con semen sexado. *Curso Internacional de Biotecnologías Reproductivas en Ganadería Tropical*. Veracruz, México 2013;78-91.
- Rosiles VA, Galina CS, Maquivar M, Molina R, Estrada S. Ultrasonographic screening of embryo development in cattle (*Bos indicus*) between days 20 and 40 of pregnancy. *Anim Reprod Sci* 2005;90:31-37.

- Sá Filho MF, Nichi M, Soares JG, Vieira LM, Melo LF, Ojeda A, Camos Filho EP, Gaeiro AH, Sartori R, Baruselli PS. Sex sorted sperm for artificial insemination and embryo transfer programs in cattle. *Anim Reprod* 2014;11:217-224.
- Samadia F, Blacheb D, Martin GB, D'Occhio MJ. Nutrition, metabolic profiles and puberty in Brahman (*Bos indicus*) beef heifers. *Anim Reprod Sci* 2014;146:134-142.
- Saragusty J, Arav A. Current progress in oocyte and embryo cryopreservation by slow freezing and vitrification. *Reproduction* 2011;141:1-19.
- Sartori R, Barros CM. Reproductive cycles in *Bos indicus* cattle. *Anim Reprod Sci* 2011;124:244-250.
- Satrapa RA, Castilho AS, Razza EM, Pegorer MF, Puelker R, Barros CM. Differential expression of members of the IGF system in OPU-derived oocytes from Nelore (*Bos indicus*) and Holstein (*Bos taurus*) cows. *Anim Reprod Sci* 2013;138:155-158.
- Seidel Jr GE, Garner DL. Current status of sexing mammalian spermatozoa. *Reproduction* 2002;124:733-743.
- Seidel Jr GE. Sperm sexing technology. The transition to commercial application. An introduction to the symposium "Update on sexing mammalian sperm." *Theriogenology* 2009;71:1-3.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013 <http://www.siap.gob.mx/>
- Silva-Mena C. Peripubertal traits of Brahman bulls in Yucatan. *Theriogenology* 1997; 48:675-685.
- Sinclair KD, Webb R, Sylvester-Bradley R, Wiseman J. Reproductive rate in farm animals: strategies to overcome biological constraints through the use of advanced reproductive technologies. In: *Yields of farmed species: constraints and opportunities in the 21st century*. Proc Univer Nottingham Easter School Series, June 2004, Sutton Bonington, UK 2005; 51-87. Nottingham University Press.
- Summers MC, Biggers JD. Chemically defined media and the culture of mammalian preimplantation embryos: historical perspective and current issues. *Hum Reprod Update*. 2003;9:557-82.
- Tess MW, Kolstad BW. Simulation of cow-calf production systems in a range environment: II. Model evaluation. *J Anim Sci* 2000;78:117-1180.
- Vajta G, Kuwayama M. Improving cryopreservation Systems, *Theriogenology* 2006;65(1):236-244.
- White RR, Brady M, Capper J L, McNamara JP, Johnson KA. Cow-calf reproductive, genetic, and nutritional management to improve the sustainability of whole beef production systems. *J Anim Sci* 2015; 93:3197-3211.
- Wilmut I, Bai Y, Taylor J. Somatic cell nuclear transfer: origins, the present position and future opportunities. *Phil. Trans. R. Soc.* 2015; 370: 20140366. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0366>.
- Wright PC, Noirel J, Ow SY, Fazeli A. A review of current proteomics technologies with a survey on their widespread use in reproductive biology investigations. *Theriogenology* 2012;77(4):738-765.e52. <http://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.11.012>.

# CAPÍTULO VI

## SALUD ANIMAL EN BOVINOS DEL TRÓPICO MEXICANO

( 193

CAPÍTULO VI

Efrén Díaz Aparicio  
Itzel Amaro Estrada  
Beatriz Arellano Reynoso  
Ramón Ignacio Arteaga Garibay  
Jazmin De la Luz Armendáriz  
Luis Gómez Núñez  
José Luis Gutiérrez Hernández  
Erik Giovanni Hernández Badillo  
Alba Margarita Hernández Ibáñez  
Enrique Herrera López  
Tania Y. Lara Bañuelos  
Marcos Daniel Martínez Peña  
Gabriela Palomares Resendiz  
Francisco J. Preciado de la Torre  
Rosa Estela Quiroz Castañeda  
Humberto Ramírez Mendoza  
Jose Francisco Rivera Benítez  
Sergio D. Rodríguez Camarillo  
Edmundo E. Rojas Ramírez  
Francisco Suárez Güemes  
Carlos A. Vega y Murguía  
Antonio Cantú Covarrubias

### VI.1 INTRODUCCIÓN

En nuestro país, una de las principales limitaciones en que se ve favorecida la producción de bovinos en el trópico, son problemas relacionados a la salud, principalmente aquéllos que provocan fallas reproductivas como infertilidad, abortos, momificaciones, partos prematuros, nacimiento de becerros débiles, mortinatos, entre otros, por

enfermedades como la leptospirosis, esto debido al desconocimiento de la enfermedad en productores y técnicos en aspectos de prevención y control de la misma.

La brucelosis en bovinos es principalmente debida a *Brucella abortus*, otros animales, incluido el hombre, son susceptibles de contraer

la enfermedad y jugar un papel en la persistencia y transmisión. *B. abortus* tiene nueve biovariedades de las cuales 1, 2, 3, 4 y 9, son las más reportadas, destacando la biovariedad 1 como la más frecuente en América Latina. La distribución de biovariedades tiene importancia para conocer el origen de algunas infecciones.

Los rumiantes en general son susceptibles a *B. abortus*, adquiriendo mayor relevancia en áreas donde se practican programas de erradicación. Los búfalos, camélidos, cérvidos, caprinos y ovinos, son altamente susceptibles a la infección. Los cerdos y caballos también se infectan con frecuencia, pues la alimentación a los animales con suero de leche derivados de la fabricación de quesos, es una forma usual de transmitir la infección. La infección de perros con *B. abortus* ha sido demostrada bajo condiciones experimentales y de campo. Además, los perros juegan un importante papel en la distribución de la enfermedad, al alimentarse de los fetos de rumiantes, arrastrarlos y diseminar las bacterias.

La clamidiasis en el ganado es causada por *Chlamydia abortus*, sin embargo, *C. suis* y *C. psittaci* también pueden transmitirse. *C. abortus* ha sido aislada de fetos bovinos abortados, membranas fetales, exudado vaginal. Las vacas pueden empezar a infectarse a cualquier edad y durante cualquier temporada, pero el periodo de riesgo más importante es durante la época de partos. Estudios serológicos muestran una alta prevalencia de clamidiasis en el ganado bovino en diferentes países europeos. La infección en el ganado se ha asociado con trastornos reproductivos, incluyendo el aborto, endometritis, vaginitis, terneros débiles, mortalidad perinatal, infecciones del tracto urogenital, neumonía, conjuntivitis, enteritis, poliartritis, encefalomiелitis y mastitis; en los toros, la infección puede causar epididimitis, vesiculitis seminal, atrofia testicular, y también se ha demostrado que se elimina en semen y afecta su calidad, la multiplicación de *C. abortus* a través de semen contaminado puede dar lugar a infecciones locales y reacciones inflamatorias en el útero, lo que puede posteriormente, ocasionar infertilidad en novillas. *C. abortus* ha sido reportado en Europa y los Estados Unidos de América con prevalencias superiores al 45 % en lugares con problemas reproductivos.

La campilobacteriosis genital bovina es una enfermedad de transmisión sexual causada por la bacteria *Campylobacter fetus* subespecie venerealis, su presencia en los hatos bovinos está asociada a pérdidas económicas considerables, ya que ocasiona infertilidad en bovinos y se disemina

a través de la monta natural, en los machos el microorganismo se aloja en la cavidad prepucial, sobre todo en regiones donde la enfermedad es endémica. Esta enfermedad era anteriormente conocida como vibriosis genital de los bovinos, y aunque es poco frecuente en hatos lecheros, es común encontrarla en bovinos destinados a la producción de carne. La transmisión de la enfermedad se produce principalmente durante la monta, el toro actúa como portador asintomático de la enfermedad con persistencia de la infección genital siendo más prevalente a mayor edad, cuando ocurre la monta natural con una hembra no infectada; la bacteria se multiplica en la vagina y se disemina hacia el útero causando infertilidad, mortalidad embrionaria temprana, ocasionales abortos y endometritis, aún en sistemas de producción en donde se realiza inseminación artificial. Las hembras también tienen la capacidad de diseminar la enfermedad, debido a que la bacteria puede alojarse en la zona cervico-vaginal, convirtiéndolas en animales persistentemente infectados.

Una vez dentro del hato, los signos clínicos empezarán a ser evidentes en los animales, mostrando infertilidad, muerte embrionaria o fetal y abortos entre los 4 a 7 meses de gestación; todos estos signos están comúnmente asociados a cuadros de endometritis subclínica que puede persistir desde semanas hasta meses. La respuesta inmune contra el microorganismo se desarrolla lentamente, mientras esto ocurre, las hembras son incapaces de finalizar la gestación hasta después de dos o tres montas posteriores. En México la campilobacteriosis fue reportada por primera vez en toros en 1965, y en 1975 fue aislada por primera vez de toros. En México esta enfermedad se consideraba en los años ochenta muy importante, pero lamentablemente se ha dejado de lado la investigación, el diagnóstico, la prevención y tratamiento, por lo que su frecuencia en los sistemas de producción de bovinos debe haber aumentado en estos últimos años.

Las enfermedades transmitidas por garrapatas constituyen un obstáculo importante para la producción ganadera, y se consideran causa de gran impacto económico. Las rickettsiosis transmitidas por garrapatas son problemas importantes de manejo y de salud del ganado en África, Australia, Asia y América Latina. A nivel mundial, la enfermedad rickettsial más importante en los bovinos es la anaplasmosis bovina causada por *Anaplasma marginale*. En las zonas endémicas, el ganado indígena ha desarrollado resistencia a las garrapatas y anaplasmosis. Entre las medidas de control disponibles en la actualidad se incluyen,

el uso de acaricidas, el tratamiento de animales, la quimioprofilaxis, la exposición controlada y la vacunación, medidas que solamente limitan las pérdidas ocasionadas por las garrapatas y las enfermedades transmitidas por ellas. El uso de acaricidas es cada día más problemático debido a la selección de garrapatas resistentes a estos, además de la presencia de residuos en la carne y la leche que son motivos de preocupación en materia de salud pública, y en última instancia puede interferir con la estabilidad enzoótica, haciendo a los animales susceptibles tanto a la anaplasmosis como a la babesiosis bovina.

## VI.2 GRANDES PARADIGMAS

### VI.2.1 BRUCELOSIS

La infección por *Brucella* en un hato se debe a la introducción de animales infectados que no han sido previamente diagnosticados de la enfermedad. Las ferias o exposiciones ganaderas son un riesgo, ya que los animales pueden infectarse y al regresar al hato original pueden contagiar a los demás animales: es recomendable no adquirir animales enfermos o que no provengan de hatos libres de brucelosis. Que la vaca aborte dentro de establos y corrales es el principal factor para la diseminación de la brucelosis. No se acepta la vía venérea como de importancia epidemiológica en la transmisión de la enfermedad; pero sí el semen infectado en la inseminación artificial. La leche es una forma natural de eliminación de *Brucella* en las vacas infectadas y es trascendental en la transmisión al becerro. La transmisión vertical fue probada por Plommet, quien menciona que 60 a 70 % de los fetos nacidos de madres infectadas nacen con la infección. Las becerras también se pueden infectar durante el nacimiento al momento de atravesar el canal de parto, al mamar calostro o leche de vacas infectadas. La mayoría de ellas se deshacen de la *Brucella*, pero un porcentaje bajo puede mantenerse infectadas hasta que son adultas, permaneciendo negativas a las pruebas serológicas de diagnóstico y abortar en la primera gestación. Estos animales representan un serio problema en el control y erradicación de la brucelosis.

Existen reportes de vacas infectadas con *B. abortus* pero seronegativas; se aisló *B. abortus* de leche que provenían de vacas seronegativas. En México, reportan el aislamiento de la cepa de campo de *B. abortus* con fenotipo liso, a partir de exudado vaginal en dos vacas de primer parto vacunadas con RB51 a dosis reducida que habían parido normalmente y que eran seronegativas.

En explotaciones con elevada prevalencia de brucelosis un importante factor de riesgo para el contagio es que las vacas infectadas del hato, contaminen la pastura, donde la *Brucella* puede permanecer viable largo tiempo, favorecidos por un adecuado grado de humedad. La resistencia del microorganismo es mayor en presencia de material orgánico, esta situación se presenta en las regiones tropicales de nuestro país.

En el proyecto integral para mejorar la productividad, competitividad y sustentabilidad de la cadena productiva de leche de bovino en México, financiado por SAGARPA-CONACyT se realizó un estudio para conocer la prevalencia de la brucelosis bovina en las principales cuencas lecheras de nuestro país con diferente tipo de explotación, en el sistema de doble propósito se involucró a los estados de Veracruz, Chiapas y Sinaloa. La prevalencia general se determinó utilizando 5,396 muestras de suero de bovino provenientes de 197 unidades de producción distribuidos en 11 estados. Del total de muestras el 86 % fueron positivas a la presencia de anticuerpos contra *Brucella*. En el estado de Chiapas se tomaron muestras de 21 unidades de producción. La prevalencia general fue de 0 % para los municipios considerados. Para Sinaloa se tomaron 420 muestras de 12 unidades de producción, la prevalencia general para el estado fue de 3.5 %. En el estado de Veracruz se tomaron 820 muestras de 49 unidades de producción. La prevalencia general fue de 0 %. La prevalencia promedio de brucelosis en el sistema intensivo fue de 21.8 % que comprende los estados de Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Coahuila, Hidalgo, Guanajuato y Querétaro, para el sistema de doble propósito fue de 2.3 % que incluye los estados de Sinaloa, Veracruz y Chiapas, para la lechería familiar que sólo incluye el estado de Jalisco fue de 15.8 %.

### VI.2.2 EL VIRUS RESPIRATORIO SINCICIAL BOVINO (vRSB)

Pertenece al orden de los *Mononegavirales*, familia *Paramyxoviridae*, subfamilia *Pneumovirinae* y género *Pneumovirus*. Es un virus que tiene genoma ARN de cadena sencilla no segmentada; el virión consiste en una nucleocápside contenida dentro de una envoltura lipídica y su tamaño varía de 150 a 300 nm. Los genes del vRSB son NS1, NS2, N, P, M, SH, G, F, M2 y L, mismos que son encargados de codificar a las proteínas estructurales que son proteína de fusión, proteína G, proteína SH, proteína de matriz (M), proteína N y la fosfoproteína. El vRSB presenta tropismo hacia células epiteliales de

la naso-faringe y neumocitos tipo II, y se transmite principalmente por contacto directo entre animales y por aerosoles. De la misma forma, se ha descrito que el virus puede permanecer en las instalaciones, en el alimento y en el agua contaminada. Los signos que se encuentran asociados a la infección por el vRSB se presentan en el aparato respiratorio inferior, se observa descargas nasales, tos, disnea y principalmente bronquiolitis, alveolitis y neumonías. En el caso del vRSB en becerros menores de un año, se ha observado que desencadena una respuesta inflamatoria exacerbada, lo que produce que los cuadros clínicos respiratorios sean más acentuados, en algunas ocasiones provocando la muerte del individuo. Se ha observado que a diferencia de otros virus que causan problemas respiratorios, los bovinos infectados con el vRSB presentan cuadros neumónicos severos.

### VI.2.3 EL VIRUS PARAINFLUENZA TIPO 3 (vPI3)

Fue aislado por primera vez en 1950, es de distribución mundial y se ha descrito que tiene prevalencia del 24 al 87.2 %, en el ganado bovino del trópico mexicano se reporta una seroprevalencia del 54 al 61 %. El agente etiológico de la parainfluenza se encuentra clasificado en el orden *Mononegavirales*, familia *Paramyxoviridae*, subfamilia *Paramyxovirinae* y género *Respirovirus*, especie parainfluenza bovina tipo 3 (vPI3). Es un virus ARN de cadena sencilla de sentido negativo, envuelto, pleomórfico, tiene un diámetro de 120 a 130 nm y su genoma tiene una longitud de 15-19 Kb. El vPI3 contiene 6 genes (N-P-M-F-HN-L) que codifican para nueve proteínas, tales como nucleoproteína, la fosfoproteína (P), la proteína pesada, la proteína de matriz, la proteína hemoaglutinina-neuraminidasa y la proteína de fusión. El tropismo celular de este virus va dirigido principalmente a células epiteliales de tráquea, células ciliadas bronquiales, células no ciliadas y ciliadas bronquiales, neumocitos tipo I y tipo II. En la mayoría de los casos se ha observado que este virus se manifiesta de forma subclínica en becerros y vacas adultas. En el caso de existir signos clínicos, los que se han identificado con mayor frecuencia están relacionados con el aparato respiratorio superior y destacan lagrimeo, descarga nasal, fiebre, disnea y estornudos. En el caso del vPI3 en humanos se han observado cuadros clínicos de bronquiolitis y neumonías en niños cuya morbilidad alta y mortalidad solo se observa en pacientes inmunosuprimidos. El vPI3 se transmite por contacto directo con aerosoles y descargas nasales; en otros estudios en ovinos y bovinos,

se ha demostrado que se puede transmitir por vía intra-placentaria.

### VI.2.4 RINOTRAQUEITIS INFECCIOSA BOVINA (IBR)

Esta enfermedad es causada por un virus que fue identificado como una enfermedad venérea en bovinos en el año de 1928, y actualmente es reconocida como una enfermedad cuya distribución es mundial. En 1971 se confirma la presencia del virus IBR en hatos que se encuentran en el altiplano mexicano, y en la actualidad se ha demostrado que se encuentra en las grandes producciones ganaderas de todo el país. Este virus pertenece a la familia *Herpesviridae*, subfamilia *Alphaherpesvirinae* y género *Varicellovirus*. Es un virus ADN con un tamaño de 150 nm y es sensible al éter, alcohol y la acetona. La partícula viral contiene polipéptidos que se encuentran ligados a la nucleocápside y a la envoltura viral, dentro de los cuales se encuentran las dos principales proteínas inmunogénicas del virus (VP13 y VP8), además se ha identificado a la proteína VP7, la cual es considerada como el mayor componente viral. Este virus causa una infección persistente en forma de latencia, el periodo de incubación varía de 2 a 6 días y se transmite por medio de aerosoles y descargas vaginales. Entre las principales manifestaciones clínicas que se han reportado son daño en tracto respiratorio, genital y conjuntival, abortos y momificaciones. Se ha descrito que este virus afecta principalmente a bovinos mayores a 6 meses de edad y los factores predisponentes en los bovinos del trópico son la mezcla con animales de los cuales se desconoce su estatus sanitario.

### VI.2.5 CLAMIDIASIS

Afecta a ovinos, caprinos y bovinos. *C. abortus* es una bacteria intracelular obligada y coloniza la placenta de varias especies de animales, ocasionando aborto o el nacimiento de crías débiles durante los primeros días de vida. Su importancia en salud está basada en dos aspectos: por las pérdidas económicas que ocasiona a los propietarios de animales y por el potencial de transmisión zoonótico a los seres humanos, especialmente en mujeres que están en contacto con animales infectados, si no se trata adecuadamente, los pacientes pueden desarrollar septicemia severa con coagulación intravascular diseminada, resultando en aborto espontáneo del feto o muerte fetal. La familia *Chlamydiaceae* tiene un solo género *Chlamydia* en la actualidad y comprende 12 especies (*C. abortus*, *C. avium*, *C. caviae*, *C. felis*, *C. gallinacea*, *C.*

*muridarum*, *C. pecorum*, *C. pneumoniae*, *C. psittaci*, *C. suis* and *C. trachomatis*) y un nuevo candidato *C. ibidis*. Las bacterias del género *Chlamydia* son gram-negativas, se replican dentro de vacuolas en el citoplasma de las células epiteliales de mucosas conjuntival, genital y de tracto intestinal, así como en células del sistema retículo endotelial, formando inclusiones intracitoplasmáticas. Tiene una membrana externa trilaminar la cual está compuesta de proteínas y lipopolisacáridos. Las proteínas le confieren especificidad y pueden actuar como adhesinas y los lipopolisacáridos tienen propiedades endotóxicas, específicos de la familia *Chlamydiaceae*.

Las bacterias intracelulares obligadas como *Chlamydia*, viven en lo que podría llamarse un ambiente extremo, ya que deben adaptarse al medio intracelular y establecer interacciones específicas con la célula, que le permitan sobrevivir y multiplicarse, por lo que esta familia adquirió un ciclo de desarrollo bifásico único, caracterizado por dos estructuras morfológicas distintas, el cuerpo elemental (CE) y el cuerpo reticular (CR), también se pueden encontrar formas intermedias. El CE es la forma infectiva de la bacteria y está adaptado para sobrevivir fuera de la célula, tiene un diámetro de 200 a 300 nm. El CR es la forma multiplicativa y se va a encontrar en las inclusiones intracitoplasmáticas, tiene un diámetro que va de los 500 a 1,000 nm y es la de mayor presencia durante todo el desarrollo.

## VI.2.6 LEPTOSPIROSIS

Es una enfermedad infectocontagiosa de origen bacteriano, que afecta a todos los mamíferos, tanto silvestres como domésticos y tiene múltiples presentaciones. Está distribuida en todo el mundo a excepción de la Antártida. Se han descrito 13 especies y más de 260 serovariedades, aunque la mayoría de las veces, la infección se produce por un número limitado de serovariedades endémicas de una región o país, se debe destacar que la enfermedad se transmite de forma más fácil entre hospederos de mantenimiento, por ejemplo para la serovariedad Hardjo el hospedero de mantenimiento son los bovinos, mientras que si llega a haber una infección con otra serovariedad se considera que es una infección accidental. La leptospirosis es una enfermedad zoonótica que se presenta con mayor frecuencia en zonas tropicales; sin embargo, la transmisión puede ocurrir tanto en países industrializados como países en vías de desarrollo. La leptospirosis bovina provoca pérdidas principalmente por sus efectos a nivel reproductivo, en segunda instancia por disminución

en la producción de leche y en tercer lugar, por la aparición de un cuadro grave en animales jóvenes, que cursan con fiebre, ictericia, hemorragias y hematuria que por lo regular es de curso fatal, y en la que están implicadas principalmente serovariedades accidentales.

Las leptospiras son espiroquetas de alrededor de 0.1  $\mu\text{m}$  de diámetro por 6 a 20  $\mu\text{m}$  de largo, el género *Leptospira* está conformado tanto por las especies saprofitas, como patógenas. La enfermedad es provocada por cualquiera de las 13 especies patógenas de este género y las más de 260 serovariedades que se han identificado alrededor del mundo. En los bovinos la causa más común de leptospirosis es la serovariedad Hardjo, sin embargo, se pueden infectar con otras serovariedades. Esto depende de la región en la que se encuentren los bovinos y las especies animales con las que convivan, así como también la zona geográfica, siendo la zona tropical la de mayor riesgo, debido a la humedad, donde tiene predilección la bacteria en su mantenimiento. La infección ocurre principalmente a través de las membranas mucosas o de lesiones en la piel. La transmisión de la leptospirosis entre los hospederos de mantenimiento, se da de forma directa e implica el contacto con orina infectada, fluidos placentarios o a través de la leche. Además, puede transmitirse por vía venérea y transplacentaria. La infección de hospederos incidentales ocurre comúnmente de forma indirecta por el contacto con áreas contaminadas o con los hospederos de mantenimiento. Las condiciones ambientales son críticas en determinar la frecuencia de la transmisión indirecta.

La supervivencia de las leptospiras se ve favorecida por condiciones de un ambiente húmedo, temperaturas templadas de alrededor de 25 °C, pH neutro o ligeramente alcalino, y la presencia de materia orgánica. Bajo estas condiciones el microorganismo puede permanecer viable por días e incluso semanas fuera de su hospedero. La infección con la serovariedad Hardjo en los bovinos adultos es generalmente subclínica o puede provocar disminución de la eficiencia reproductiva, y un estado de portador crónico que es fuente de infección para otros animales. En hembras gestantes pueden aparecer abortos, nacimiento de crías débiles, mortinatos, aumento en el número de servicios por concepción así como falla reproductiva; aunque, los abortos y las crías débiles generalmente aparecen sólo cuando la hembra gestante se infecta por primera vez con la serovariedad Hardjo. En las vacas lactantes puede aparecer una caída repentina de la producción

láctea, que puede durar hasta 14 días, la leche tiene apariencia de calostro, contiene coágulos, un alto recuento de células somáticas y los cuatro cuartos pueden estar implicados. El número de animales afectados puede variar desde el 1 % hasta el 50 % dependiendo de la inmunidad del hato, aunque la mayoría de las veces se presenta en casos aislados.

## VI.2.7 CAMPILOBACTERIOSIS GENITAL BOVINA

Ha sido reportada en varios países, y se le considera una enfermedad de distribución mundial debido a las diferentes rutas de comercialización de ganado bovino en pie alrededor del planeta. Los países que han reportado la presencia de la enfermedad son Argentina, Australia, Brasil, Canadá, Colombia, Cuba, Estados Unidos, Francia, España, Guatemala, India, Japón, México, Panamá, Perú, Portugal, Sudáfrica, Venezuela, Polonia, Ecuador, Kenia y Grecia. Aunque no existe confirmación, se sospecha de su presencia en Afganistán, Belice, Bolivia, Costa Rica, El Salvador, Honduras, y Nigeria. *C. fetus* subespecie *venerealis* es un bacilo corto Gram-negativo en forma de coma, mide 0.3 a 0.4  $\mu\text{m}$  de ancho por 1.5 a 2.5  $\mu\text{m}$  de largo y posee un flagelo polar que le confiere motilidad. Aunque varios miembros del género *Campylobacter* son considerados de riesgo para la salud humana, *C. fetus* subespecie *venerealis* sólo se ha asociado a algunos cuadros de septicemia. En la hembra, la mucosa vaginal presenta una inflamación con destilación de exudados, la infección por *C. fetus* subespecie *venerealis* puede también comprometer la fertilización, la implantación y ser el origen de la mortalidad embrionaria. Las primeras modificaciones histológicas del endometrio son observadas luego de 16 a 21 días después de una infección experimental, los anticuerpos uterinos provocan la expulsión gradual del microorganismo desde el oviducto hasta el útero, y permiten que el animal recupere su fertilidad luego de 3 a 6 meses de comenzado el proceso. En el toro, la bacteria se aloja en la mucosa prepucial y peneana sin causar ningún tipo de signo clínico, la calidad del semen no se ve afectada y el comportamiento reproductivo del macho es prácticamente normal.

## VI.2.8 ANAPLASMOSIS

A nivel mundial, la enfermedad rickettsial más importante en los bovinos es la anaplasmosis bovina causada por *Anaplasma marginale*. En las zonas endémicas, el ganado indígena ha desarrollado resistencia a las garrapatas y anaplasmosis.

Entre las medidas de control disponibles en la actualidad se incluyen, el uso de acaricidas, el tratamiento de animales, la quimioprofilaxis, la exposición controlada y la vacunación, medidas que solamente limitan las pérdidas ocasionadas por las garrapatas y las enfermedades transmitidas por ellas. La anaplasmosis bovina tiene una distribución mundial, pero es de mayor importancia en las regiones tropicales y subtropicales. La enfermedad generalmente se asocia con pérdida de eritrocitos, fiebre, ictericia, depresión general y, en ganado susceptible puede pasar desapercibida hasta que es demasiado tarde para un tratamiento. En México, el 75 % de todo el ganado de carne se encuentra dentro de las regiones tropicales y subtropicales que comprenden el Golfo de México, la península de Yucatán, una gran parte de la costa del Pacífico y la parte más meridional de la península de California.

Estudios serológicos y moleculares han demostrado que la presencia de la enfermedad puede sobrepasar el 50 % de los bovinos muestreados ubicados en dichas regiones tropicales y subtropicales. En el año 2003, México cerró sus fronteras a la importación de ganado de Estados Unidos y Canadá debido a la presencia de encefalopatía esponjiforme, lo que afectó en particular la producción de ganado lechero. Para solventar la necesidad nacional de vaquillas de reemplazo, éstas se obtuvieron de Australia y Nueva Zelanda, así como de la producción interna a partir de algunos estados de México, donde la anaplasmosis está presente pero no es un problema. La introducción de animales portadores de *A. marginale* a rebaños libres de anaplasmosis provocó graves pérdidas (muerte en la mayoría de los casos y la producción de leche) en vacas adultas altamente susceptibles debido a la transmisión mecánica. Con el fin de reducir las pérdidas, la industria lechera mexicana implementó un programa para identificar y eliminar portadores mediante la detección de anticuerpos contra *A. marginale* en los rebaños donde se compraron las vaquillas prospecto, con lo que el número de sueros ensayados aumentó desde unos pocos cientos en 2002 a varios miles entre los años 2004 y 2008. Estos sueros provenían de Estados (Chihuahua, Guanajuato, Nuevo León, Durango y Coahuila), donde la enfermedad no es un problema. El número exacto de portadores de anticuerpos contra *Anaplasma* en todo el país no se conoce; sin embargo esta prueba ha confirmado que la anaplasmosis es endémica, incluso a altitudes o regiones secas donde no hay garrapatas o sólo pequeñas poblaciones de *Rhipicephalus (Boophilus)* o *Dermacentor* están presentes. Por el contrario, bovinos susceptibles de alto registro, provenientes de áreas de libres o de baja

endemidad están sujetos a un gran riesgo cuando se introducen en zonas de alta prevalencia o lugares donde las poblaciones de garrapatas fluctúan. Este fue el caso en Soto la Marina, Tamaulipas, donde hasta el 30 % del ganado de una explotación murió durante brotes en 2006.

## VI.3 PROBLEMAS ESPECÍFICOS ABORDABLES POR LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

**Brucelosis.** Establecer cuáles son los factores de virulencia de la bacteria, realizar estudios epidemiológicos basados en el diagnóstico serológico, bacteriológico y molecular, para establecer con precisión la distribución geográfica y espacial de las cepas y serotipos que causan la enfermedad, así como determinar los factores de riesgo, conocer si las hijas de las vacas positivas están infectadas de manera latente para poder establecer si deben ser eliminadas basándonos en el diagnóstico serológico antes de la vacunación y del primer servicio, realizar un diagnóstico bacteriológico en leche y subproductos lácteos en zonas de la República Mexicana donde se realice la pasteurización de la leche, y determinar las especies de la *Brucella* que causan la enfermedad en humanos, para realizar actividades de control y prevención de la enfermedad para reducir su incidencia.

El virus respiratorio sincitial bovino representa pérdidas económicas y productivas considerables para la ganadería tropical debido a la complejidad sanitaria que se encuentra en este sistema de producción. En el ganado bovino del trópico se han implementado programas de vacunación con virus inactivados y atenuados que han sido poco eficientes, asociado a que no existe el aislamiento y la identificación genómica del vRSB que se encuentra circulando naturalmente en las instalaciones; aunado a este desconocimiento no se han implementado técnicas de laboratorio eficientes que nos permitan conocer el estatus sanitario de los animales. Las escasas medidas de bioseguridad implementadas en las producciones bovinas predisponen al establecimiento, infección y diseminación del vRSB. Se ha demostrado que los bovinos que se encuentran en el trópico de México presentan anticuerpos específicos en contra del virus parainfluenza tipo 3, pero aun no se ha realizado la identificación ni aislamiento de dicho agente en esta región, además no se cuenta con técnicas de diagnóstico serológico ni molecular que nos permitan realizar un estudio epidemiológico viable para esta producción.

vPI3. Al existir evidencia de la infección natural del virus, se han implementado estrategias de vacunación como medida preventiva. Estas vacunas son polivalentes, las cuales contienen otros virus que forman parte del complejo respiratorio bovino, como lo son el vRSB, IBR y el virus de la diarrea viral bovina, pero se ha observado que no confiere una adecuada respuesta inmune en los becerros, ya que se observan cuadros respiratorios asociados a estos. En la producción de bovinos del trópico, existen escasas medidas zoonositarias y de bioseguridad que predisponen a que los animales sean infectados por el virus parainfluenza tipo 3.

IBR. Debido a que en México se reporta una prevalencia del 43 % es de vital importancia trabajar en el aislamiento e identificación del genoma viral, que nos permita determinar la cepa viral que se encuentra circulando de forma natural en los bovinos del trópico. Además, es necesario implementar pruebas de diagnóstico molecular y serológico que funjan como herramientas para la implementación de monitoreos calendarizados en los bovinos del trópico mexicano. Es necesario trabajar en la implementación de programas de vacunación con virus inactivados, atenuados o bien con vacunas a partir de proteínas recombinantes que den paso a la implementación de medidas preventivas viables en la producción del trópico.

La clamidiasis bovina representa pérdidas económicas y productivas considerables para la ganadería. Al ser considerada una enfermedad exótica en México, por el momento no es posible la vacunación, aunque en otras partes del mundo existen vacunas vivas así como bacterinas, además la utilización de las técnicas serológicas para la identificación de anticuerpos contra *C. abortus* es limitada, pues al ser considerada como una enfermedad exótica, no se tiene acceso a estuches comerciales de ELISA, los permisos de importación para estos son tardados y las pruebas son costosas. Por tal motivo los laboratorios de diagnóstico de nuestro país no cuentan con las técnicas diagnósticas adecuadas. En este contexto resulta importante que las autoridades involucradas con la Salud Animal estén sensibilizadas con el problema que representa la clamidiasis para la ganadería mexicana.

Se ha demostrado que los bovinos que se encuentran en el trópico de México presentan anticuerpos específicos en contra *C. abortus*; sin embargo no se ha realizado el aislamiento de dicho agente en esta región, además no se cuenta con técnicas de diagnóstico serológico disponibles en el mercado mexicano, que nos permitan realizar un estudio epidemiológico. Al existir evidencia de la

infección por *Chlamydia*, algunos productores han implementado el tratamiento, el cual no es curativo, sólo evita el aborto y permite la producción láctea, pero tanto la madre como las crías permanecen infectadas. *Chlamydia* es susceptible a las tetraciclinas. En la actualidad esta enfermedad es considerada exótica en nuestro país, por lo que no existe vacuna para prevenirla. En la producción de bovinos del trópico, existen escasas medidas zoonosanitarias y de bioseguridad que predisponen a que los animales sean infectados por clamidiasis. En México, solamente se han conseguido aislamientos en cabras, en el año 2012 trabajando en rebaños del estado de Guanajuato, se lograron 43 aislamientos de *C. abortus* a partir de muestras de exudado vaginal de cabras que abortaron o que estaban recién paridas.

En otro trabajo de nuestro grupo durante los años de 2012 y 2013, para determinar la presencia de *C. abortus* en casos de abortos en rebaños caprinos. Se tomaron muestras de exudado vaginal de cabras de parto reciente con historial de aborto, de cabras con aborto reciente y de fetos abortados. Se obtuvieron 186 muestras procedentes de 49 rebaños de los estados de Coahuila, Jalisco, Puebla, Veracruz y Querétaro. Mediante el aislamiento bacteriano se encontró un 23.1 % de muestras positivas a inclusiones clamidiales durante la infección en las células L929, la PCR mostró un 9.6% de muestras positivas. El análisis de la secuencia de los productos de amplificación mostraron una homología del 99 % con *C. abortus* cepa A.22, FAS, S26, EBA y VPG. Se ha corroborado la presencia de anticuerpos específicos contra *C. abortus*, en pequeños rumiantes y bovinos. Durante el periodo enero de 2010 a diciembre de 2012, se realizaron muestreos en varios hatos dedicados a la cría y explotación de bovinos lecheros de diferentes estados, mediante la ELISA se determinó la frecuencia de animales positivos a *C. abortus* de hatos con antecedentes de aborto. De un total de 833 muestras analizadas, 90 de ellas (10.8 %) resultaron positivas. En Guanajuato se reportó un 6 % (15/237) de animales seropositivos, el 18.5% (15/81) de los hatos muestreados tienen al menos un animal seropositivo. En Aguascalientes se observó que el 5.8 % (13/221) de los animales presentaron anticuerpos contra *C. abortus*, estos animales pertenecieron a 17 de los 46 hatos muestreados. En Veracruz se detectó que el 8.6% (18/208) de los animales fueron seropositivos, en Puebla el 13 % (6/46) de los animales mostraron seropositividad, mientras que en el Estado de México el 2.9 % (1/35) fueron positivos. En Hidalgo, Morelos y Tlaxcala la seropositividad fue del 9 % (5/53) 57 % (12/21) y 57 % (12/21) respectivamente.

Además, cabe mencionar que en muchos lugares de nuestro país las especies antes mencionadas conviven en hatos mixtos, por lo que el riesgo de transmisión inter-especie es posible. El control de esta enfermedad es relevante para la salud animal, y representa un riesgo zoonótico para los grupos expuestos en actividades pecuarias durante el manejo y el cuidado de los animales enfermos. El riesgo se incrementa en las personas inmunocomprometidas y en mujeres que están en contacto con animales infectados, si no se trata adecuadamente, los pacientes pueden desarrollar septicemia severa con coagulación intravascular diseminada, resultando en aborto espontáneo del feto o muerte fetal.

**Leptospirosis.** La leptospirosis bovina ocasiona grandes pérdidas económicas y productivas considerables para la ganadería tropical debido a la pérdida de becerros por abortos, así como la producción láctea principalmente. El diagnóstico de la leptospirosis depende de una buena historia clínica, de su historial de vacunación, así como de las pruebas de laboratorio y la experiencia de éste en el diagnóstico de la enfermedad. Las pruebas de diagnóstico pueden ser divididas en dos grupos: las que detectan anticuerpos específicos contra el microorganismo y las que detectan al microorganismo o su ADN en los tejidos o fluidos corporales de los animales. Sin embargo, es recomendable el uso de una técnica serológica y una técnica molecular para identificar al microorganismo, y de esta manera aumentar la sensibilidad y especificidad. Las pruebas serológicas son ampliamente usadas para el diagnóstico de leptospirosis en animales, y la de aglutinación microscópica (MAT) es la prueba serológica estándar. La MAT requiere usar cepas de todos los serogrupos y serovariedades identificados en la región o país donde se lleva a cabo el diagnóstico. El aumento en el título de anticuerpos para una serovariedad y que coincide con la presentación clínica de la enfermedad es suficiente para establecer el diagnóstico. Sin embargo, esta prueba tiene varias limitaciones, una de ellas es que por sí sola no puede diferenciar entre anticuerpos vacunales y los provocados por la infección. Otras pruebas usadas para detectar anticuerpos contra la leptospirosis son la prueba de fijación del complemento y la ELISA. Existen pruebas para la detección de leptospirosis; estas pruebas incluyen la Inmunofluorescencia (IF) y la PCR. El cultivo es otro método que se puede usar, sin embargo es una técnica cara, que lleva mucho tiempo y generalmente no está disponible en todos los laboratorios. La IF se usa para detectar leptospirosis en tejidos, sangre o sedimento urinario, su principal desventaja es que no diferencia la serovariedad

infectante, por lo que es necesario un examen serológico. La PCR es una prueba que consiste en la amplificación del ADN del microorganismo, es capaz de detectar la presencia de la bacteria en tejidos o fluidos corporales. Las desventajas de esta prueba son que no diferencia la serovariedad implicada y que es extremadamente sensible a la contaminación con ADN exógeno, por lo tanto puede dar reacciones falsas positivas. Los programas de control de la leptospirosis en los bovinos se basan en: prevenir la exposición de los animales a las fuentes de infección y la vacunación. En el primer caso, lo que se desea es evitar el contacto directo e indirecto entre los bovinos y los portadores de leptospirosis, por ejemplo en el control de los roedores, limitar el acceso de los bovinos a aguas estancadas o pequeños arroyos, sobre todo cuando otros animales también tienen acceso a estas fuentes de agua. También se sugiere la cuarentena de animales que se desean introducir al hato, esto con la finalidad de evitar la introducción de la serovariedad Hardjo. Sin embargo, hay limitaciones en estas prácticas, ya que algunas requieren de mucho dinero, es imposible terminar con todos los animales silvestres que pueden ser portadores de la enfermedad, y además la prevalencia de la serovariedad Hardjo en el ganado hace imposible prevenir la exposición a todas las fuentes de la enfermedad. Por lo tanto, la vacunación es necesaria para mejorar la resistencia de los bovinos a la infección, las bacterinas deben contener serovariedades patógenas que previamente hayan sido diagnosticadas en la región o en el hato en cuestión; estas bacterinas en general proveen una buena protección en contra de la enfermedad, inducida por cada una de las serovariedades que contiene la bacterina, excepto contra la serovariedad Hardjo. Los protocolos de vacunación para la leptospirosis incluyen dos dosis iniciales de la bacterina, seguidas de una vacunación semestral en hatos de ganadería tropical.

**Campilobacteriosis.** Aunque muchas afecciones reproductivas de los bovinos son asociadas a agentes infecciosos, el comportamiento de la enfermedad en las hembras le permite ser confundida con cuadros clínicos causados por bacterias piógenas, u otros agentes víricos (vIBR, vDVB), parasitarios (*Tritrichomonas foetus*, *Neospora caninum*) o bacterianos (*Brucella abortus*, *Leptospira* spp) comúnmente asociados a cuadros abortivos o que provocan modificaciones en el ciclo reproductivo. La falta de detección de animales infectados sea por fallas en el diagnóstico o medidas de manejo y profilaxis, permite que esta enfermedad subsista durante varios ciclos reproductivos, comprometiendo

la eficiencia productiva del hato. En la producción de bovinos del trópico, existen escasas medidas zoonositarias y de bioseguridad que predisponen a que los animales sean infectados por *C. fetus* subespecie *venerealis*. Actualmente existen distintas técnicas usadas en el diagnóstico de la enfermedad, los ensayos usados en la detección de antígenos tienen una especificidad y una sensibilidad variable, la inmunofluorescencia por ejemplo, tiene la desventaja de no diferenciar entre especies de *Campylobacter*; la inmunohistoquímica a partir de muestras de fetos abortados suele compartir también este problema; otras pruebas como la de aglutinación en moco vaginal, el ELISA, y el aislamiento bacteriológico son otras de las pruebas de elección, sin embargo, en México estas tecnologías no están disponibles debido a lo complicado que resulta la estandarización de los ensayos, además de lo costoso o complicado que resultan algunas de ellas.

En México la campilobacteriosis fue reportada por primera vez en toros en 1965 y en 1975 fue aislada la bacteria por primera vez a partir de lavados prepuciales. En nuestro país esta enfermedad se consideraba muy importante en los años ochenta, pero lamentablemente se ha dejado de lado la investigación, el diagnóstico, la prevención y el tratamiento, por lo que su frecuencia en los sistemas de producción de bovinos debió aumentar en estos últimos años. A pesar del cierre de fronteras para la importación de ganado en pie proveniente de otros países, es probable que se realicen prácticas de importación de semen usado para el mejoramiento genético de los bovinos nacionales, proveniente de países como Brasil, en donde la campilobacteriosis se considera como endémica según los reportes de la OIE, o los Estados Unidos de América, en donde se ha reportado la presencia del microorganismo en toros usados con fines reproductivos.

En el caso de la **anaplasmosis bovina**, las vacunas vivas plantean muchos riesgos, incluyendo: (i) la posibilidad de propagación de otros patógenos transmitidos por la sangre, tales como *Babesia* spp., o el virus de la leucemia bovina por mencionar sólo dos; (ii) la dificultad en la estandarización de la dosis vacunal; (iii) el mantenimiento de los animales portadores; (iv) el control de calidad de la producción; y (v) el mantenimiento y el transporte de las vacunas hasta el usuario final, incluyendo la necesidad de una cadena fría. Las vacunas inactivadas basadas en el uso de los cuerpos iniciales o bacterias extraídas son muy efectivas pero, tienen desventajas como: (i) la posible contaminación con antígenos de membrana del eritrocito; (ii) una amplia variación antigénica entre

cepas geográficas; (iii) inmunidad de corta duración; y (iv) disminución en la intensidad de los signos clínicos sin evitar la infección, por lo que los animales permanecen como portadores para el resto de sus vidas. El problema se agrava por la gran diversidad antigénica y genética encontrada en las cepas de una región a otra, dentro del mismo rebaño e incluso dentro de un mismo animal. La investigación actual entonces, se dirige a la búsqueda de nuevas alternativas para el diseño de vacunas y ensayos. En el caso del diagnóstico, los nuevos ensayos basados en anticuerpos o en amplificación de ADN, son capaces de detectar portadores, lo que está mostrando una imagen más completa de la distribución real de esta rickettsia y sus variantes, además de que se aprecia la relación de la rickettsia con sus vectores de garrapatas y la vida silvestre. En la presente revisión, además de discutir los aspectos fundamentales de la anaplasmosis, también nos enfocamos en las características moleculares que hacen a *A. marginale*, capaz de permanecer en la naturaleza por medio de: (i) los mecanismos de evasión del sistema inmune de los hospederos mamíferos a través de la diversidad e hipervariabilidad de algunos de sus componente o (ii) su replicación y su transmisión por garrapatas vectores.

## VI.4 TECNOLOGÍA MUNDIAL DISPONIBLE Y GRADO DE APLICACIÓN EN MÉXICO

**Brucelosis.** Los estudios realizados sobre la brucelosis priorizan el desarrollo de nuevas vacunas y pruebas diagnósticas. En los países desarrollados, las nuevas publicaciones sobre la brucelosis son de investigación básica, dirigidas al estudio de los factores de virulencia de la bacteria, mediante la obtención de mutantes para evaluarlas en los modelos celulares y murinos. En México, se han realizado estudios similares de investigación básica sobre el microorganismo y sus factores de virulencia. Asimismo se realizaron estudios sobre la resistencia natural de los bovinos a la brucelosis, sin llegar a poder plantear un argumento irrefutable.

En México el primer reporte de la brucelosis animal data de 1905, los esfuerzos realizados para su control han redundado en tener zonas libres y en la erradicación de la brucelosis bovina; sin embargo, la enfermedad sigue siendo un serio problema, como lo evidencia que sea la principal zoonosis bacteriana en nuestro país; los datos de personas positivas a la brucelosis ha fluctuado en los últimos diez años entre 2,000 y 3,000 casos anuales, lo importante es que se desconoce la especie de la

bacteria que causa la enfermedad en los humanos, pues sólo se realiza rutinariamente el diagnóstico serológico.

Desde los años setenta existen numerosos reportes de seroprevalencia en ganado bovino del trópico mexicano, pero actualmente ese tipo de estudios son poco numerosos.

Se cuenta con todas las herramientas necesarias para lograr su control, dos vacunas excelentes la S19 y la RB51, pruebas diagnósticas económicas, fáciles de realizar y con elevada sensibilidad y especificidad, como son tarjeta al 8%, inmunodifusión radial con el hapteno nativo y fluorescencia polarizada. Laboratorios con la infraestructura y gente capacitada para realizar el estudio bacteriológico y de PCR. Y una Norma Oficial Mexicana en la que se basa la Campaña Nacional de Control de la enfermedad. Pero se tienen problemas de baja cobertura de vacunación, y aplicación inadecuada de las vacunas, como es la revacunación múltiple.

**vRSB.** Los estudios realizados se enfocan a la cepa que infecta al ser humano en el cual se han logrado realizar aislamientos en diferentes países como China y Estados Unidos, en el caso del virus respiratorio sincitial bovino los principales países que han logrado realizar su aislamiento son Noruega y Estados Unidos. Así mismo, se ha determinado que la respuesta humoral transmitida por la madre por medio del calostro confiere una adecuada respuesta inmune humoral en los becerros. En Europa, los experimentos se enfocan en el estudio de la patogenia de la enfermedad a partir de infecciones experimentales para determinar el tipo de respuesta inmune en el becerro, esto con la finalidad implementar vacunas recombinantes, empleando como antígeno, principalmente, la proteína F y G del vRSB. En Inglaterra realizaron una vacuna empleando un vector viral para inmunizar becerros y prevenir la infección del virus respiratorio sincitial bovino y humano, detectando una adecuada respuesta. En México, se han realizado estudios de seroprevalencia en ganado bovino del trópico mexicano reportando un porcentaje del 50 al 55% de positividad, lo que demuestra que los bovinos se encuentran expuestos a la infección natural por el vRSB; además se han implementado estrategias de vacunación con virus inactivado, atenuado de forma intra-nasal y subcutánea, pero en infecciones experimentales y naturales se ha determinado que estas vacunas no confieren una respuesta inmune adecuada en contra del vRSB, ya que no contienen a las cepas que se encuentran circulando en México.

**Virus parainfluenza tipo 3.** En los estudios realizados en razas europeas no se ha observado que alguna de ellas presente resistencia a la infección, sin embargo, los animales jóvenes y el nivel sanitario de los sistemas de producción favorecen la susceptibilidad de los becerros a la infección por el vPI3. Además, se han implementado infecciones experimentales en ratones y en becerros en los cuales no se han observado lesiones en otros órganos, por lo que el virus es sumamente específico del aparato respiratorio. Diversos estudios demuestran que los becerros que presentan la infección por el vPI3 se encuentran susceptibles a la infección por bacterias como *Histophilus somni*, *Pasteurella multocida* y *Mannheimia haemolytica*. En los bovinos que se encuentran en el trópico mexicano se ha observado que el número de animales no es un factor de riesgo para la presencia del virus, ya que a pesar de estudiar producciones con número bajo de animales, estos presentan anticuerpos específicos en contra del vPI3.

Virus parainfluenza tipo 3, en China, se han realizado diferentes aislamientos y secuenciación para realizar estudios filogenéticos de las diferentes cepas identificadas, así mismo se ha trabajado en la elaboración de vacunas con virus activo, atenuado e inactivado, a partir de las cuales han descrito una adecuada respuesta inmune en sus bovinos, sin embargo, en México no se ha observado el mismo resultado. En Estados Unidos se ha trabajado en la estandarización de técnicas de diagnóstico serológico como inhibición de la hemoaglutinación, inmunoperoxidasa, inmunofluorescencia y ensayo inmunoenzimático y técnicas de diagnóstico molecular como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) con transcripción reversa y PCR con retro transcripción en tiempo real. En México, la principal prueba serológica implementada es la inhibición de la hemoaglutinación, y en algunas ocasiones se realiza la identificación molecular empleando la técnica de PCR, pero es importante destacar que estos monitoreos no se realizan de rutina en los bovinos que se encuentran en el trópico.

**IBR.** En algunos estudios se ha descrito que la presencia de esta enfermedad no se encuentra determinada por alguna raza o cruce, además se descarta que el sistema de producción influya sobre su presentación, ya que la principal forma de transmisión es por vía sexual. Existe una dependencia significativa entre el macho y la presentación del virus de IBR, ya que en ellos se encuentra de forma latente y sin manifestación de signos, por lo que es de vital importancia su

participación dentro de la diseminación del virus a las hembras. A nivel mundial se ha trabajado con la elaboración de vacunas inactivadas y atenuadas a partir de la glicoproteína E de la superficie viral, reportando que al aplicarla se reduce la severidad con la que se manifiestan los signos y la diseminación viral en las producciones. También se ha trabajado con vacunas que contienen al virus con una delección en el gen E, obteniendo resultados favorables como medida de prevención a la presentación del virus en bovinos, sin embargo, en México los resultados asociados a la aplicación de esta vacuna no han sido eficientes al 100 % debido a que existen animales que a pesar de haber sido vacunados se encuentran infectados con el virus, lo cual se asocia a que la cepa viral que infecta a los bovinos es diferente. En México, se ha trabajado en la estandarización de técnicas de diagnóstico serológico que nos brindan herramientas para el monitoreo de este virus en el ganado bovino del trópico, en el cual se ha observado que existe una prevalencia del 54 %, por lo que es fundamental la implementación de programas viables de vacunación que nos permitan prevenir la infección por el vIBR en el trópico mexicano.

**Clamidiiasis.** A nivel mundial se está trabajando en el diagnóstico serológico mediante la obtención de antígenos a partir de CE, CR o el LPS de la bacteria, que permitan detectar animales verdaderos positivos para que no exista interferencia con la vacunación, en México no existe este tipo de investigación. Las técnicas de diagnóstico molecular como la PCR o la PCR en tiempo real, también son objetivos de estudio, ya que se debe realizar el diagnóstico de manera cualitativa y cuantitativa, además de poder diferenciar *C. psittaci* de *C. abortus*. En México, se emplea el cultivo celular y la técnica de PCR, si bien estas herramientas son indispensables en la determinación de la distribución clamidiiasis en México, son pruebas costosas para su uso a nivel de campo. Se requiere de pruebas tipo tamiz para el primer diagnóstico del rebaño, para este fin las pruebas inmunoenzimáticas son la primera elección. El uso de vacunas en los países europeos también tiene una excelente línea de investigación, pues se enfoca en la elaboración de vacunas vivas atenuadas que han demostrado que inducen tanto una respuesta inmune de tipo celular como humoral, y los estudios con este tipo de vacuna correlacionan con buena protección; aunque tienen el inconveniente de que no impiden la colonización del microorganismo, por lo que se encuentran abiertas diferentes líneas de investigación que eviten esto, y además tengan la característica de no interferir con el diagnóstico.

**La leptospirosis** en bovinos se caracteriza por tener mayor frecuencia en zonas tropicales y subtropicales, esto debido a que la humedad favorece la supervivencia de la bacteria fuera de sus hospederos, dando tiempo a que otros animales susceptibles adquieran la infección. Por lo que las tecnologías disponibles a nivel mundial se basan principalmente en el uso de técnicas de diagnóstico oportunas, así como la elaboración de nuevos biológicos que garanticen la inmunidad en los bovinos que permitan el control y la prevención de la enfermedad. En la actualidad la leptospirosis juega un papel importante en las zonas tropicales del país, en estados del sur de la república mexicana, se reportan seroprevalencias del 62.8 % como en el estado de Yucatán, siendo las serovariedades Hardjo y Tarassovi las de mayor frecuencia. Por otra parte se han encontrado seroprevalencias del 70.4% en bovinos del estado de Tamaulipas, siendo las serovariedades Tarassovi (53.25 %), Hardjo (23.64 %), Canicola (15.32%) las de mayor presencia. Así como también frecuencias del 52 % en bovinos del municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero, siendo las serovariedades más frecuentes Hardjo H89 (45.5 %), Hardjo (33.1 %), Wolffi (28.6 %) y Tarassovi (9 %). La serovariedad Hardjo roies la que mayor frecuencia tiene, esto debido a que los bovinos son reservorios de esta serovariedad y la transmisión entre ellos se facilita por contacto directo y no depende de factores medioambientales, además, las prácticas de introducir animales al hato sin diagnóstico previo pueden favorecer la diseminación de la misma. Es importante determinar las serovariedades de cada región tropical, para administrar bacterinas que contengan aquéllas a las que están expuestos los bovinos y de esta forma protegerlos contra la enfermedad, en la medida de lo posible tratar de establecer medidas de control de la infección de acuerdo a la serovariedad predominante, ya que encontrar una alta frecuencia de cierta serovariedad podría orientar hacia la fuente de infección.

**Campilobacteriosis.** Distintos grupos de especialistas a nivel mundial han desarrollado diversas tecnologías genómicas que permiten la detección del ADN del microorganismo a partir de muestras clínicas de manera más sencilla, económica y confiable en términos de sensibilidad y especificidad a diferencia de otras, incluso se han desarrollado métodos que permiten establecer árboles filogenéticos que deriven en estudios más profundos relacionados con el agente causal de la enfermedad. Aunque el aislamiento bacteriológico es considerado ante la OIE la prueba de oro, la correcta toma de muestras, su conservación en cadena fría y la dependencia del uso de medios

de transporte enriquecidos como el de Clark, Lander o SBL, comprometen la viabilidad de la muestra. Debe tomarse en cuenta también que este microorganismo tiene condiciones específicas de crecimiento, por lo que se hace necesario el uso de medios selectivos que elevan considerablemente el costo de la prueba diagnóstica. Actualmente se ha desarrollado para la detección del genoma bacteriano, una serie de iniciadores a partir de la fracción 16S rRNA, los cuales permiten diferenciar a *C. fetus* de *C. hyointestinales*, especie con la cual comparte un 98 % de identidad genética. La aplicación de estas tecnologías han permitido incluso lograr diferenciar mediante PCR múltiple a *C. fetus* subespecie *fetus* de *C. fetus* subespecie *venerealis*, ambas bacterias asociadas a procesos infecciosos en el ganado bovino. Una PCR en tiempo real ha sido desarrollada en los últimos años, mostrando ventajas en cuanto a su capacidad y rapidez de detección, sin embargo el costo del equipo y de algunos insumos usados para su implementación, así como la falta de personal capacitado aún limita el acceso para la mayoría de los laboratorios de diagnóstico en salud animal. Todas las pruebas diagnósticas anteriormente descritas pueden ser realizadas a partir de muestras de semen, esmegma, secreciones vaginales y tejidos de fetos abortados, sin ser necesario el uso de medios especiales de transporte, aunque debe considerarse una correcta colecta de la muestra, sobre todo para evitar la contaminación con material orgánico o cualquier otra sustancia que pueda comprometer la viabilidad de ésta.

La presencia de la anaplasmosis bovina se ha detectado principalmente mediante pruebas serológicas, incluyendo la prueba de fijación del complemento, inmunofluorescencia indirecta, ensayo inmunoenzimático a partir de antígenos crudos y más recientemente, una ELISA competitiva con base en el uso de la proteína Msp5 recombinante que es altamente eficiente en la detección de infecciones subclínicas. Estas pruebas sin embargo, son incapaces de diferenciar anticuerpos anti-*A. marginale* de anticuerpos contra otros *Anaplasmataceae* como *A. ovis*, *A. phagocytophilum* y *Ehrlichia chaffeensis*. Actualmente la Organización de Sanidad Animal, recomienda básicamente dos pruebas serológicas para la detección de anticuerpos específicos, el ensayo inmunoenzimático indirecto ELISA y la ELISA competitiva comercial. El diagnóstico directo se hace normalmente por examen microscópico de frotis sanguíneo teñido, se puede usar la PCR anidada, para la detección del gen msp5. Este ensayo tiene una capacidad reportada de detectar 30 organismos en un volumen de 1 ml de sangre

a concentración normal ( $3 \times 10^9$  eritrocitos), sin embargo el resultado es sólo cualitativo, mismo que no es útil en casos clínicos. Para efectos cuantitativos se ha diseñado un PCR cuantitativo en tiempo real (qPCR) con base en las regiones constantes del gen *msp1b*, este ensayo tiene una sensibilidad mínima de 30 copias del gen en 1 ml de sangre a concentración normal, de igual manera, tiene la capacidad de mostrar una curva lineal de detección hasta  $10^8$  (cien mil) copias del gen dando la posibilidad de interpretación en términos cuantitativos. El uso de este ensayo puede discriminar *A. marginale* de *A. marginale* subsp. *centrale* utilizando iniciadores específicos. En México, la mayor compañía de seguros para el ganado reportó hasta un 26 % de las pérdidas totales en el movimiento de ganado debido exclusivamente a la anaplasmosis bovina, por lo que esta enfermedad se ha considerado como el obstáculo más importante para la mejora de ganado de baja producción criado en México.

La vacunación con vacunas vivas o inactivadas ha ayudado en el control de esta enfermedad. *A. marginale* subsp. *centrale* se ha usado como inmunógeno vivo y se ha distribuido durante muchos años en Australia. La vacunación con cepas vivas de *A. marginale* naturalmente de baja virulencia se ha logrado tanto en Australia como en México. En general, las vacunas inactivadas protegen bien, sin embargo, dada la amplia diversidad antigénica de un aislado a otro de la rickettsia desde la perspectiva geográfica, su uso se restringe a la región que da origen a la cepa con la que se prepara la vacuna. En México, nuestro grupo desarrolló vacunas inactivadas basadas en el uso de cuerpos iniciales de varias cepas locales. Un inmunógeno de este tipo fue usado para el control de brotes severos en Tamaulipas, donde se ha aplicado comercialmente en más de 5,000 cabezas en ranchos donde la estabilidad enzoótica se perdió. Dado que las alternativas en inmunoprofilaxis actuales no han sido lo suficientemente efectivas o de uso más general, se han abierto estudios sobre proteínas de superficie no variantes, como potenciales vacunas de subunidad; sin embargo, se cree que una vacuna de subunidad tendrá que contener varias proteínas/péptidos con el fin de conferir inmunidad sólida contra un parásito con gran diversidad. La relación de la rickettsia con el hospedero bovino es compleja, ya que la rickettsia tiene interacción con los eritrocitos y las células endoteliales. Un número de proteínas de la rickettsia y la respuesta inmune bovina han sido estudiados en detalle, sin embargo, a la fecha no existe una solución final (vacunal o de otro tipo) para controlar esta enfermedad. La complejidad de la relación de la rickettsia y

garrapatas se refleja en los estudios con la cepa St. Maries de *A. marginale*, que es eficientemente transmitida por diferentes poblaciones geográficas de garrapatas *Dermacentor andersoni*. A pesar de esta evidencia, no todas las cepas de *A. marginale* se transmiten a través de garrapatas. En estudios para definir un patrón en movimiento de ganado con respecto de *A. marginale* se observa que aunque existe una amplia diversidad entre las cepas nacionales, también se observa que los repetidos a, b y g en una secuencia ab(3)g están presentes en un gran número de cepas a lo largo de el golfo de México, desde Tamaulipas hasta el sur de Veracruz, incluyendo en varios organismos aislados en ubicaciones remotas como Hidalgo, donde no existen garrapatas y poco ganado de carne. Al comparar estos trabajos con resultados reportados recientemente, se observa cercanía con las secuencias reportadas para algunas cepas de Brasil y norte de Argentina. Nosotros especulamos que dada la importación de ganado cebú que hubo hace algunas décadas de Brasil hacia México, es posible que cepas de *A. marginale* se haya importado junto con ese ganado.

Se ha observado que *A. marginale*, al entrar en contacto y para replicarse en la garrapata vector, tiene que activar o reprimir algunos genes, sin embargo hay que tomar en cuenta que la garrapata, sea cual fuere la especie que sea permisiva de la replicación de la rickettsia, tiene que defenderse de la invasión. De esta manera algunos trabajos encaminados a estudiar estas interacciones desde la perspectiva de la garrapata, muestran que hay una serie de genes que se sobreexpresan y aun otros que se reprimen.

## VI.5 PROSPECTIVA

**Brucelosis.** Estudios epidemiológicos, Inocuidad de la leche y subproductos lácteos, Establecer los mecanismos de la infección en crías de vacas positivas, Estudios de nuevas estrategias de vacunación y diagnóstico, Estudios de los factores de virulencia de la bacteria, Estudios en perros, pequeños rumiantes y animales silvestres que comparten el hábitat de los bovinos de doble propósito, los cuales pueden ser reservorios y diseminadores de la brucelosis en bovinos.

**Virus respiratorio sincitial bovino.** Es de suma importancia trabajar en la identificación y aislamiento del virus en las producciones que se encuentran en la región del trópico de México, principalmente para estandarizar pruebas de diagnóstico serológico y molecular, con el objetivo de establecer datos que nos permitan determinar la epidemiología del

virus. Todo ello conllevará a implementar medidas preventivas, tales como la vacunación, y medidas de bioseguridad en las etapas productivas que presenten mayor susceptibilidad a la infección y transmisión del virus respiratorio sincitial bovino.

**vPI3.** Se debe realizar el aislamiento viral que nos permitiría la identificación de las diferentes cepas que se encuentran circulando de forma natural en los bovinos del trópico mexicano y con esto poder sentar las bases epidemiológicas del virus para implementar diferentes técnicas de diagnóstico molecular para detectar la etapa productiva en la cual los bovinos se encuentran con mayor susceptibilidad de ser infectados.

**IBR.** En el ganado bovino del trópico de México es necesario trabajar en la estandarización de técnicas serológicas y moleculares, que nos permitan identificar el virus de la rinotraqueitis infecciosa bovina, con la finalidad de conocer el estatus sanitario de los bovinos y así sentar las bases epidemiológicas del virus. Además, es necesario trabajar en la elaboración de diferentes tipos de vacunas para implementar las medidas preventivas necesarias dentro del hato que se encuentra en México. Es de vital importancia implementar medidas de bioseguridad rigurosas que impidan la entrada de agentes virales que causen severas bajas en la producción del ganado bovino del trópico.

**La clamidiasis** en nuestro país al ser considerada como enfermedad exótica, se está impidiendo que puedan aplicarse medidas de control y de prevención en caprinos, ovinos y bovinos lecheros, donde se tiene evidencias de que es una enfermedad presente, y que si no se llevan a cabo medidas de control se permitirá su diseminación y se presentará por tanto como una enfermedad emergente. Es por ello necesario demostrar la participación de este agente patógeno en casos de abortos en bovinos, de esta manera la clamidiasis en rumiantes podrá ser una línea de investigación a la que se dediquen esfuerzos y presupuesto. Se debe realizar investigación para la obtención de antígenos recombinantes que posteriormente sean utilizados para pruebas diagnósticas que puedan ser implementadas y estandarizadas para el diagnóstico rutinario y ser útiles en los programas de control. La falta de métodos diagnósticos deriva en la ausencia de control sobre la enfermedad y en el desconocimiento del impacto real de la clamidiosis en nuestro país. Se ha reportado que en países como España y Reino Unido, *Chlamydia* es la causa del 50 % de todos los abortos infecciosos diagnosticados, representado pérdidas de hasta £20 millones anuales. Si la clamidiasis

permanece como una enfermedad exótica en nuestro país, seguirán sin autorizarse el desarrollo de pruebas de diagnóstico; en la actualidad países europeos utilizan sistemas inmunoenzimáticos especializados que logran el diagnóstico rápido y preciso durante brotes de abortos. En nuestro país es necesario demostrar la participación de este agente patógeno en casos de abortos, para de este modo implementar y estandarizar pruebas de diagnóstico rutinarias para *C. abortus*.

**Leptospirosis.** Es primordial realizar investigación encaminada a desarrollar técnicas de diagnóstico oportunas para la identificación de la leptospirosis bovina en regiones tropicales a nivel de campo, con la finalidad de establecer medidas oportunas de prevención y control en los hatos, con la finalidad de aumentar la productividad, en cuanto al número de becerros destetados, obtención de remplazos, así como también la producción de leche en el trópico del país. Por otro lado se debe trabajar en nuevos biológicos que incrementen la inmunidad celular y humoral hacia serovariedades presentes en las zonas tropicales del país.

**Campilobacteriosis.** En México la campilobacteriosis genital bovina es una enfermedad olvidada y subdiagnosticada; el poco conocimiento acerca de la enfermedad, así como la falta de herramientas para su diagnóstico está impidiendo que puedan aplicarse medidas de control y de prevención en los bovinos, por ello es necesario demostrar la participación del agente patógeno en casos donde se han reportado problemas reproductivos en hatos bovinos, permitiendo retomar una línea de investigación que al parecer ha sido olvidada, y que en la actualidad puede contribuir a la mejora de la capacidad productiva del ganado nacional. Aunque en la actualidad el diagnóstico a nivel mundial está basado en técnicas de detección del ADN bacteriano, otras herramientas como la producción de antígenos recombinantes, la construcción de árboles genéticos y su uso en la epidemiología molecular, así como la especialización de científicos y profesores de universidades e institutos de investigación nacionales, pueden permitir en el futuro, la mejora del panorama de la ganadería nacional, contribuyendo al incremento en la económica de aquellas regiones donde esta práctica representa una importante fuente de ingresos.

La epidemiología de la anaplasmosis bovina es muy compleja y la situación en México no ha cambiado en los últimos 20 años. La epidemiología en otros países también parece similar y, en todo caso, conforme se aplica nueva metodología de diagnóstico se aprende más sobre el patógeno y

su relación con la garrapata vector. Las vacunas inactivadas y vivas se han aplicado desde hace muchos años y la anaplasmosis bovina sólo se ha controlado en los lugares donde *A. marginale* subsp *centrale* se utiliza rutinariamente. Las vacunas atenuadas de *A. marginale* se han utilizado en el pasado con posibilidades de transmisión de otros patógenos de la sangre, pero es una alternativa viable para inducir protección sólida y duradera contra el desafío heterólogo sin el riesgo de la introducción de especies exóticas. El cambio climático está afectando la distribución de las garrapatas y otros artrópodos, y se espera aparezcan en áreas donde no eran habitantes habituales, con la introducción de *A. marginale*. Quedan muchas preguntas, incluyendo el papel de las células endoteliales en la persistencia de *A. marginale* en el hospedero; el papel de la infección múltiple del hospedero en la distribución del patógeno dentro y a través de los rebaños; cómo se distribuye la rickettsia en ausencia de las garrapatas y si de hecho puede haber transmisión transovárica en las garrapatas. Los estudios realizados en nuestro laboratorio y otros se centran en estas preguntas y muchas otras. Estudios recientes se enfocan en identificar nuevas pistas en cuanto a lo que determina la transmisión de la rickettsia a través de las garrapatas y algunos datos interesantes están surgiendo. La relación entre la garrapata y la rickettsia seguramente será considerada en profundidad en un futuro próximo generando nuevas alternativas para controlar o erradicar la anaplasmosis bovina y otras enfermedades rickettsiales. En conclusión se puede decir que la epidemiología de la anaplasmosis bovina se ve afectada por muchos elementos, incluyendo el movimiento de ganado, las prácticas veterinarias, dinámica de la población de vectores y el cambio climático.

## VI.6 TENDENCIAS Y HERRAMIENTAS PARA EL DIAGNÓSTICO E IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS DE IMPORTANCIA PECUARIA

Los sistemas de detección e identificación de microorganismos en años recientes se han diversificado con el desarrollo de nuevas tecnologías con mayor sensibilidad y especificidad; entre los que destacan los avances de las técnicas de detección basadas en ácidos nucleicos y proteínas; estos permiten la designación de la identidad de blancos moleculares específicos de los organismos relacionados con diferentes enfermedades de origen genético o infeccioso, e incluso se ha

logrado la descripción de la biota asociada a diferentes ambientes y estados de salud.

Los avances en la microbiología molecular han logrado la descripción de grupos microbianos de desarrollo difícil en condiciones de laboratorio con los métodos microbiológicos tradicionales de aislamiento, por lo que este capítulo pretende hacer una discusión de las nuevas tendencias metodológicas empleadas en la detección e identificación de microorganismos útiles en el ámbito veterinario.

### VI.6.1 MÉTODOS MICROBIOLÓGICOS TRADICIONALES

El aislamiento de los microorganismos se considera hasta el momento la prueba más confiable para describir las características de estos y su relación con otros organismos; sin embargo, los métodos tradicionales dependientes de cultivo requieren el uso de componentes específicos en la formulación de los medios de cultivo y de condiciones adecuadas para su crecimiento, para lo cual existen cientos de medios de cultivo diferentes. Entre las condiciones para obtener un desarrollo adecuado en los medios de cultivo se deben considerar la temperatura, el grado de humedad, la cantidad de oxígeno necesario, y el nivel de acidez o alcalinidad; lo anterior para simular las condiciones en las fuentes de aislamiento de las que pretenden ser aisladas, por lo que la gran mayoría de los medios de cultivo que se emplean en el ámbito clínico y veterinario tienen como ingredientes hidratos de carbono, suero, sangre completa, bilis, etc., que en conjunto con otros componentes permiten la expresión de las características metabólicas particulares de cada especie o grupo microbiano.

Las pruebas microbiológicas para la identificación de los grupos microbianos de importancia veterinaria, se fundamentan en el poner de manifiesto las características metabólicas específicas y compartidas que permitan la diferenciación confiable de aquellas especies que están estrechamente emparentadas taxonómicamente, solo permiten la agrupación dentro de un conjunto de características comunes para cierto tipo de microorganismos, lo cual dificulta en algunos casos la correcta asignación de identidades; un caso concreto son las especies de bacterias ácidos lácticos o las especies del género *Brusella*.

La caracterización bioquímica emplea reglas de clasificación que incluyen también la forma, el tamaño, y aspecto de la morfología colonial y microscópica, las cuales se pueden poner de

manifiesto con el uso de colorantes que se clasifican en base a las capacidades de retención de ciertos colorantes en las membranas celulares, así como de otros componentes de las células bacterianas o fúngicas. Estas pruebas se complementan por el amplio uso de diversos sustratos, como son: fuentes de hidratos de carbono, péptidos y otros nutrientes necesarios para su desarrollo en diferentes pruebas bioquímicas (marchas microbiológicas de identificación de microorganismos).

Los perfiles bioquímicos específicos son comparados con el perfil de aquellos microorganismos considerados como de referencia para la asignación de la identidad a un nivel de género y especie; las identidades en ocasiones requieren una confirmación mediante otras pruebas complementarias, que pueden incluir el uso de anticuerpos o la detección de ciertos metabolitos específicos del tipo microorganismo (ensayos de Elisa).

La identificación presuntiva del microorganismo inicia con la descripción de la morfología colonial; para esto se emplea el desarrollo en medios de cultivo que expresen las características típicas (tamaño, forma, consistencia, producción de pigmentos) en cultivos frescos y puros. También, se describe la capacidad de generar cambios en los componentes del medio de cultivo, como la hemólisis o la difusión de pigmentos característicos para cierto grupo microbiano, para lo cual se consideran los requerimientos nutricionales de estos microorganismos, así como las condiciones idóneas en las que desarrollan, lo que resulta en el conocimiento y aplicación de los criterios para el uso de las clasificaciones de los medios de cultivo, empleados de rutina para generar los cultivos primarios que serán utilizados para la confirmación de identidad.

### Perfil bioquímico

El uso de pruebas bioquímicas pone de manifiesto las características metabólicas de cada grupo microbiano. Estas se consideran pruebas rápidas que detectan la presencia de ciertas enzimas expresadas, u otros metabolitos esenciales o secundarios para el desarrollo de estos. Algunos grupos requieren de un pre-enriquecimiento en medios específicos con el fin de aumentar la posibilidad de aislamiento de un microorganismo dado; la interpretación de la presencia de ciertos microorganismos en los medios de cultivo se basa en reacciones enzimáticas cromogénicas o de otro tipo (catalasa, oxidasa, hidrólisis de hipurato, aminopeptidasas, entre otras). Otras pruebas exhiben la utilidad de aplicación de hidratos de

carbono y generación de ácidos orgánicos, la reducción de nitratos, la producción de gas, el tipo de metabolismo que presenta (oxidativo o reductivo), la hidrólisis de ciertos sustratos, o el efecto de metabolitos producidos sobre componentes presentes en las fuentes de aislamiento.

### Métodos miniaturizados

La necesidad de facilitar el proceso de identificación generó el desarrollo de sistemas con pruebas múltiples, que redujeron las cantidades de medios de cultivo y reactivos empleados, lo que redujo los costos y tiempos en los procesos; algunos de estos métodos están validados y disponibles en el mercado por diferentes casas comerciales. Entre los sistemas más conocidos el API o BBL Crystal cuentan con el soporte para la implementación de la infraestructura e interpretación de los resultados, esto aumenta la rapidez para dar un diagnóstico confiable.

Algunas variantes de los sistemas miniaturizados son los sistemas semi-automatizados (ITS2 para Micoplasmas) y automatizados (VITEK 2), estos disminuyen la manipulación de las muestras por lo operarios y el error que se puede generar debido a una manipulación excesiva de las muestras se disminuye significativamente (referencia de evaluación de personal en laboratorios de identificación). Existen sistemas comerciales que incluyen hasta 50 pruebas bioquímicas que están divididas con base a las características de ciertos grupos microbianos. La interpretación está dada con base a los códigos que establece el fabricante a partir de la presencia o ausencia de cierta actividad metabólica generada con el uso de los sustratos incluidos en la galería de identificación. Algunos sistemas disponibles son: API (BioMérieux), Enterotube (BBL), Biochemical ID systems (Microgen), entre otros. Existen versiones de algunas galerías comerciales en las que la colocación del inóculo con el microorganismo, la incubación de la galería y la lectura de las pruebas bioquímicas se realiza de forma automatizada; algunos incluyen secciones adicionales que permiten la determinación de la susceptibilidad a cierto grupo de antimicrobianos, esto es útil para aplicar un tratamiento adecuado con base a los antimicrobianos que pueden eliminar a los microorganismos. Dentro de los sistemas automatizados se encuentran: MicroScan, Vitek, Phoenix, etc.

## VI.6.2 MÉTODOS MOLECULARES

### Basados en ácidos nucleicos

La microbiología molecular es un área que ha generado tecnología y métodos de identificación de aplicación en diversos sectores de demanda, para la óptima detección clínica e investigación de diversos agentes patógenos. Este apartado incluye técnicas de productos amplificados y no amplificados para la identificación y tipificación molecular de microorganismos, técnicas basadas en PCR, Hibridación fluorescente in situ (FISH), microarreglos, métodos inmunológicos, espectrofotometría, espectroscopia RAMAN entre otros. En la Figura 1 se muestra el poder de la resolución taxonómica ante la diversidad de técnicas de detección molecular.

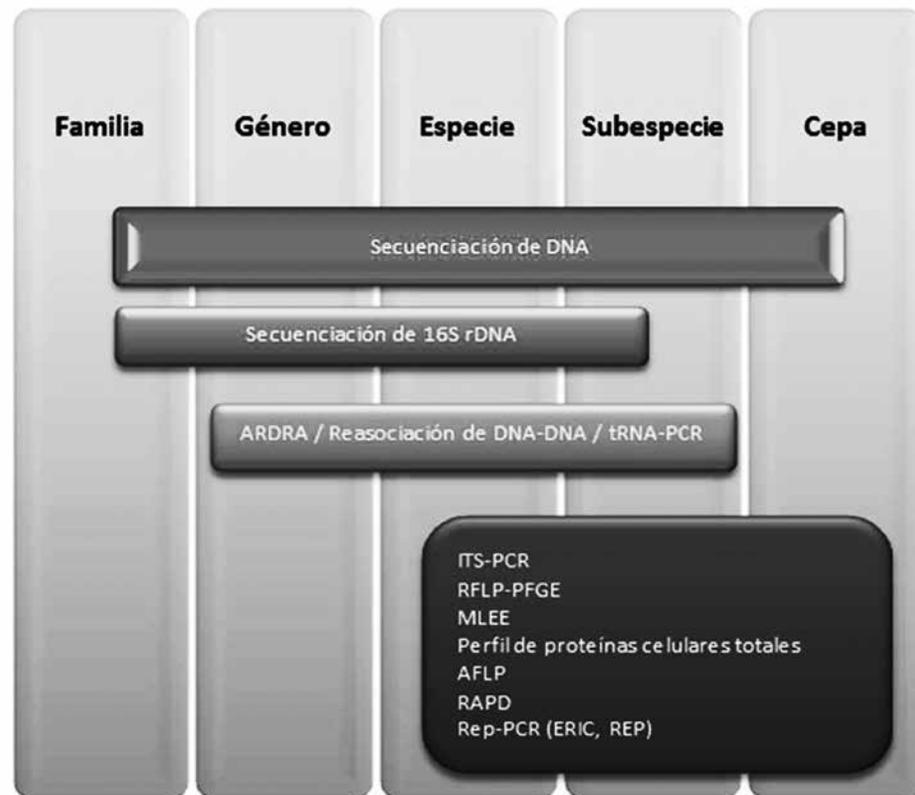


Figura 1. Resolución taxonómica de varias técnicas genotípicas. tRNA-PCR, PCR del tRNA del espacio intergénico; ITS-PCR, PCR del espacio intergénico 16S/23S; RFLP, polimorfismos de los fragmentos de restricción; PFGE, electroforesis de campos pulsados; AFLP, polimorfismos de fragmentos de amplificación; RAPD, amplificación al azar de fragmentos polimórficos de DNA; rep-PCR, amplificación de elementos repetitivos. Modificada de Savelkoul y col., 1999.

Los métodos de caracterización molecular se pueden clasificar como métodos sin secuenciación y métodos de genotipificación basados en la secuencia base y, dependiendo de su diseño para los métodos que no están basados en la secuenciación, incluyen (PFGE), PCR-Polimorfismos de longitud de fragmentos de restricción (PCR-RFLP), múltiples locos de análisis-número variable con repeticiones en tándem (MLVA), polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) y microarrays. Para los métodos de genotipado basado en la secuencia, incluyen tipificación multilocus de secuencias (MLST), tipificación de la secuencia multiespacio (MST) y de todo el genoma. La elección del método de genotipificación se debe hacer de acuerdo con la estructura de

la población del microorganismo a investigar. Esto es particularmente importante para las bacterias clonales, como *M. tuberculosis* o el *Bacillus anthracis*, para los cuales los genes estructurales son poco polimórficos y las técnicas PCR-RFLP o MLST son inadecuadas, mientras que MLVA es capaz de discriminar entre las especies. Las herramientas que no se describen para el diagnóstico clínico, tal como, por ejemplo, la PCR basada en la amplificación multiplex de ligación dependiente de la sonda (MLPA). Han sido empleadas en estudios sobre la epidemiología, la biodiversidad y el genotipado, en ensayos de polimorfismos de longitud de fragmentos amplificados (AFLP), también para enterobacterias ensayos de consenso intergénico repetitivo PCR (ERIC-PCR), se han utilizado polimorfismos de longitud de fragmentos de restricción (PCR-RFLP) y amplificación aleatoria de ADN polimórfico. Sin embargo, para el diagnóstico, estos métodos sólo serían aplicables a una base de datos suficientemente grande para su validez.

Los métodos moleculares no son adecuados para la detección directa de organismos complejos en pruebas de diagnóstico; estos métodos requieren cultivos puros para permitir a los iniciadores la amplificación en la mayoría de los organismos. La ventaja de estos métodos es el potencial que poseen en la diferenciación de aislados similares en una misma especie, en la cual lo hace adecuado para estudios de poblaciones microbianas en epidemiología molecular.

## PCR

PCR son las siglas en inglés de Polymerase Chain Reaction o reacción en cadena de la polimerasa; la técnica consiste en un ensayo enzimático *in vitro* de amplificación de DNA. Este proceso fue inventado por Kary Mullis y es utilizado como una técnica de uso rutinario en laboratorios en diferentes países. La técnica PCR es usada en biología molecular e investigación de enfermedades genéticas para la identificación de genes, secuencias virales como HIV-1 y HCV pueden ser identificadas y cuantificadas por PCR, productos de genes activos pueden ser cuantificados por PCR usando RNA-PCR, aplicaciones en campos como antropología y evolución, dada la alta sensibilidad y alta selectividad se pueden validar identificaciones de diversos organismos, ensayos forenses, en trabajos de mejoramiento genético en animales y plantas, en la identificación de patógenos de interés en diversos sectores. La enzima polimerasa sintetiza copias de DNA, una polimerasa puede trabajar a temperaturas muy elevadas, ya que proviene de la bacteria *Thermus aquaticus* que vive

a altas temperaturas. El ensayo de PCR simula en una célula el evento de replicación de DNA, bajo las condiciones adecuadas; un ensayo típico de PCR está constituido por DNA de interés a amplificar (DNA molde), un par de oligonucleótidos también conocidos como iniciadores, primers, cebadores y oligos, polimerasa termo estable, una mezcla equimolar de desoxirribonucleótidos trifosfato (dNTPs; dATP, dCTP, dGTP y dTTP) son usados para generar millones de copias de la secuencia de interés, el  $MgCl_2$ , KCl que actúan como cofactores de la enzima polimerasa y solución tampón de Tris-HCl; los dos iniciadores flanquean la doble hélice de DNA de la secuencia que se desea amplificar, son complementarios opuestos a la secuencia objetivo de la amplificación, la selectividad de la reacción depende del diseño de los oligonucleótidos, el ensayo se efectúa en un Termociclador programable, este equipo controla la temperatura en diferentes tiempos y etapas. Se controlan tres pasos de temperatura en los cuales se repiten series de ciclos, el principio se puede observar en la Figura 2. En el primer paso se separa la doble hélice del DNA molde con el aumento de una temperatura de 94°C (paso de desnaturalización). En el segundo paso, la temperatura decrece entre 35 y 65 °C (dependiendo de la secuencia del iniciador y la estrategia experimental, es la temperatura de alineamiento) los iniciadores se alinean al DNA molde, los iniciadores se hibridarán a sitios idénticos o altamente homólogos a la secuencia de nucleótidos del DNA molde (especialmente en el extremo 5'), este paso es conocido como alineamiento. La temperatura del tercer paso se selecciona de acuerdo a la actividad óptima del tipo de polimerasa termoestable, usualmente está comprendida en 65 a 72 °C (paso de elongación). La polimerasa extiende los extremos 3' del producto híbrido "DNA-Iniciador" hacia el otro sitio de unión del iniciador. Esto sucede para ambos iniciadores, en el alineamiento; de esta manera el fragmento objetivo del DNA molde es completamente amplificado (ciclo 1) en el segundo ciclo, las dos cadenas dobles de DNA resultantes son nuevamente desnaturalizadas, y ambas cadenas y productos actúan como molde, las repeticiones de los ciclos de estos tres pasos van de 25 a 50 veces, lo que resulta en una amplificación exponencial de la secuencia objetivo o molde en los extremos 5' de los sitios de unión de los iniciadores. Otros fragmentos son también generados, pero estos únicamente son amplificados linealmente y su proporción en el producto final es insignificante. La versatilidad de la técnica PCR depende en gran medida del tipo de iniciador seleccionado, de acuerdo al propósito de estudio.

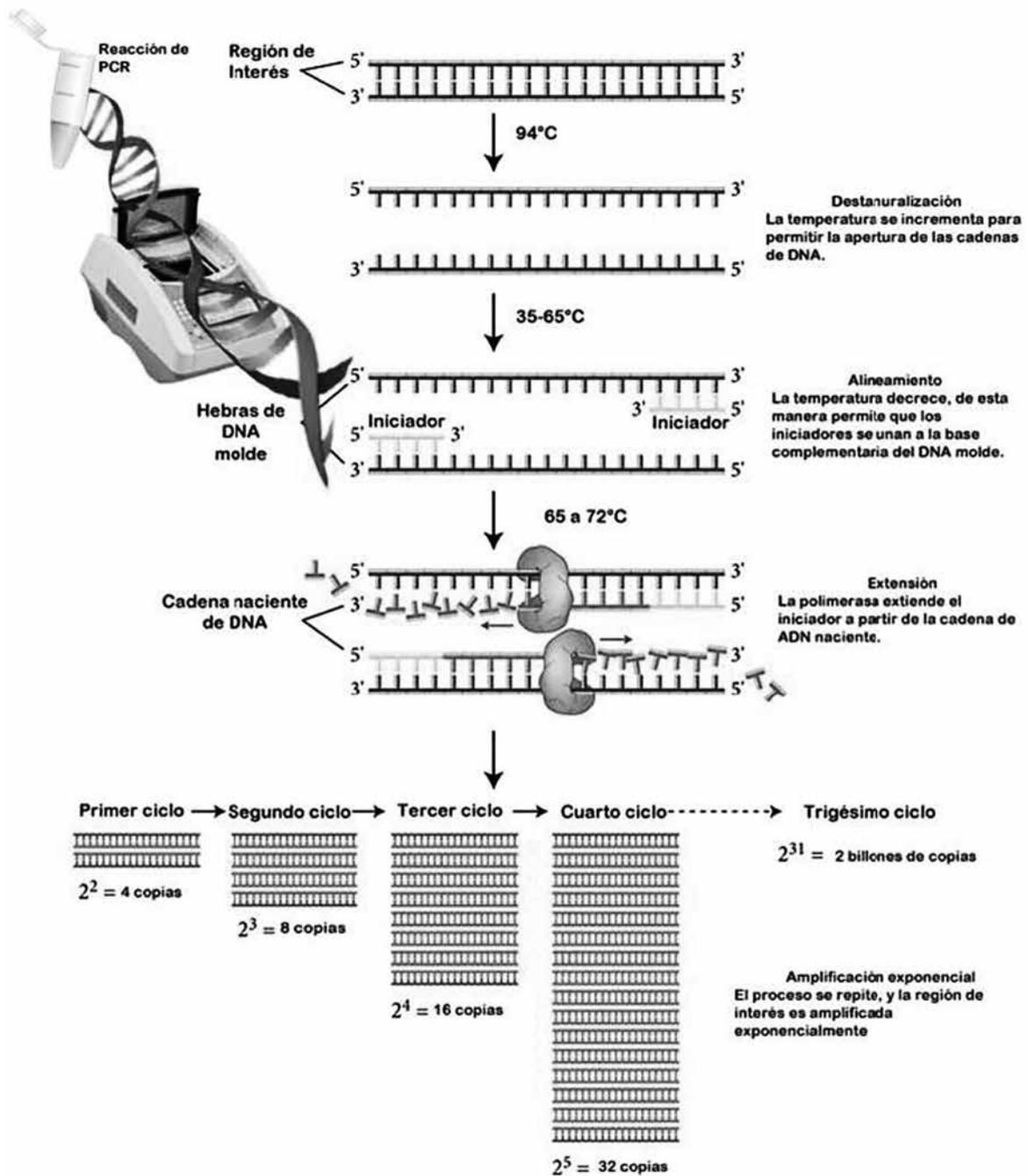


Figura 2. Principio de la reacción en cadena de la polimerasa

La amplificación exponencial del DNA objetivo hace posible la detección de pequeñas cantidades de material fúngico, muchas de las herramientas basadas en PCR se han utilizado para la identificación de infecciones fúngicas, pero sólo algunas de las herramientas se encuentran comercialmente disponibles; recientes guías recomiendan las herramientas de diagnóstico basadas en la técnica de PCR para la confirmación de infecciones.

Los primeros ensayos de PCR estaban diseñados empíricamente y regularmente localizaban genes en común en bacterias, esto permitía una detección de amplio espectro de diversas especies, por ejemplo el operón de rRNA o el gen groEL; estos ensayos de PCR permitieron el descubrimiento de diversos patógenos.

Para los virus de RNA, se requiere una reacción de la enzima transcriptasa inversa. El producto de PCR se visualiza directamente mediante electroforesis en gel de agarosa con colorantes tales como bromuro de etidio. Estos ensayos de PCR a base de gel son cualitativos, indicando presencia única o ausencia de producto visualizada de la amplificación. Algunas pruebas usan un formato “anidado”, en el que una segunda ronda de amplificación se utiliza con otro conjunto de cebadores. La mayoría de los laboratorios se han alejado de la PCR a base de gel a los formatos de PCR en tiempo real.

La detección específica por PCR requiere conocimiento de las secuencias de los genes objetivo y de los genes correspondientes a los organismos relacionados. Estas secuencias pueden ser identificadas usando pruebas específicas que actualmente están diseñadas para la detección de genes específicos de organismos con secuencias únicas, o por secuenciación de fragmentos amplificados por métodos de marcadores moleculares. Otras secuencias potenciales para la amplificación pueden ser las secuencias extra génicas repetitivas presentes en bacteria, o en especies con secuencias de DNA repetidas en tándem en diversos eucariotas.

Cuando se realizan ensayos de PCR para muestras determinadas con una proporción baja de células patogénicas, se debe tomar en cuenta la prevalencia de las condiciones cinéticas especiales, al comienzo de la reacción se forman un par de copias de 1 a 100, donde puede estar contenida la secuencia objetivo, el paso de alineamiento es crucial y se considera particularmente difícil de controlar. Esto podría requerir mediciones adicionales para asegurar la unión específica de los oligonucleótidos a las secuencias objetivo, tantas como se puedan al mismo tiempo, evitando la unión inespecífica de los primers de la síntesis de DNA.

## RT-PCR

Como se describió para la técnica PCR, la técnica RT-PCR también es una técnica de amplificación de DNA, la transcripción reversa se desarrolló para amplificar RNA. En este proceso inicialmente se produce cDNA a partir de RNA por transcripción reversa y después el cDNA es amplificado por PCR, se usan dos enzimas, una termolábil RT y una termoestable ADN polimerasa, dados los requerimientos de la enzima termolábil la síntesis del cDNA debe ocurrir a temperaturas muy por debajo de las temperaturas óptimas de alineamiento de los iniciadores. Esto representa un problema en términos de la formación del RNA, ya que puede presentar alineamientos inespecíficos e ineficientes de la extensión de los iniciadores, provocando la formación de estructuras secundarias de RNA, estos problemas se pueden solucionar con las condiciones adecuadas de la enzima DNA polimerasa derivada de *Thermus thermophilus* puede funcionar eficientemente junto con la RT. La técnica RT-PCR, va dirigida a fragmentos más cortos y el uso de una sonda fluorescente mejora en gran medida la velocidad, la sensibilidad y especificidad de la detección, en particular cuando se acopla a la selección racional de los objetivos de la PCR en las secuencias genómicas de acuerdo con el objetivo experimental y el grado de especificidad requerida (Género, especie, subespecie, cepa o de genes específicos). En la Figura 3 se muestra el proceso de la reacción de transcripción reversa. Se inicia con una cadena molde sencilla de mRNA se hibrida con el iniciador para la síntesis d cDNA, posteriormente actúa la RNase para dar lugar la nueva hebra de DNA molde de la cual se generan múltiples copias.

## PCR anidada

La técnica de PCR anidada se ha desarrollado para incrementar la sensibilidad y especificidad de la técnica de PCR convencional. Está compuesta por dos rondas de amplificación de PCR y utiliza dos juegos de iniciadores, usualmente el primer juego de iniciadores es efectuado con 15 a 30 ciclos en la primera ronda de amplificación, los productos de amplificación de la primera ronda son utilizados en la segunda amplificación con el otro juego de iniciadores, de esta manera se incrementa la sensibilidad de alineamiento de las secuencias.

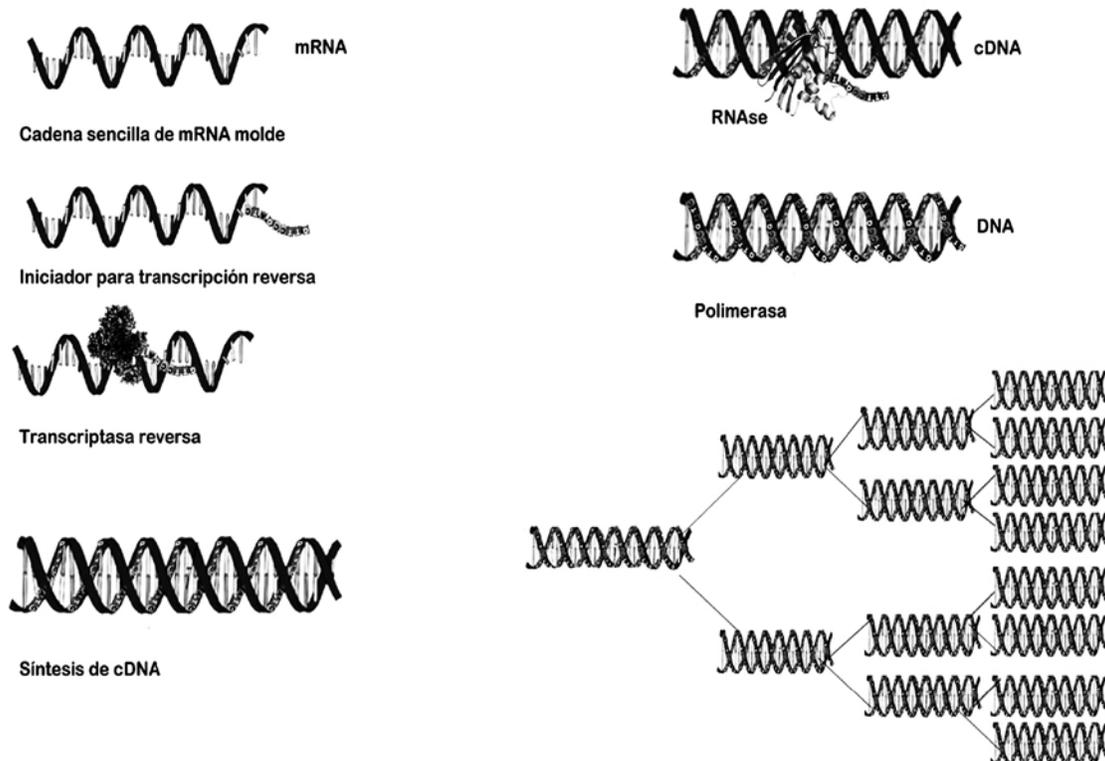


Figura 3. Principio de la reacción transcripción inversa

El uso de la PCR anidada usualmente puede resolver problemas de detección asociados con el número bajo de copias en tejido de muestras clínicas de la secuencia objetivo en contra del gran fondo de señales que podrían intervenir como es el DNA e inhibidores o inclusive la DNA polimerasa del tejido del hospedero. Un protocolo típico comienza con una primera ronda de amplificación (30-35 ciclos) usando un primer juego de iniciadores, después se toma una pequeña alícuota de los productos de PCR de la primera ronda para generar la segunda ronda con reactivos frescos usando un juego de iniciadores internos. Esta herramienta ha demostrado ser más exitosa en comparación a la dilución y reamplificación de los mismo iniciadores. La posición de los iniciadores internos es usualmente el factor determinante en el ensayo de sensibilidad y especificidad.

En las aplicaciones de diagnóstico la PCR anidada representa una herramienta de utilidad en posibilidad de diferenciación en la detección y selección de los sitios de unión de los iniciadores externos, y la posición de los iniciadores internos en sitios específicos para especies individuales, biovariedades y serovares (serotipo). En esta área la aplicación de la PCR anidada puede proveer información válida para epidemiología y taxonomía. Otra ventaja de la reamplificación de productos no específicos de la primera ronda, es la reducción de estos productos dado el empleo de un juego de iniciadores diferente en la segunda ronda.

## PCR múltiple

Para el ensayo de una PCR múltiple se utilizan más de dos juegos de iniciadores, estos son diseñados para diferentes regiones de la secuencia y están incluidos en la misma mezcla de reacción. Esta técnica permite la identificación de más de una región. Los iniciadores utilizados en reacciones múltiples son cuidadosamente seleccionados para que coincidan en las temperaturas de alineamiento y tengan baja complementariedad. Diversos ensayos de PCR múltiple han sido desarrollados para la detección de patógenos respiratorios. Se cuentan con ensayos en el mercado para la detección de patógenos de Prodesse, Inc., Waukesha Wis.

La técnica de PCR Multiplex cuantitativa con cebadores marcados basados en genes de rDNA 5.8S y 28S se han descrito para distinguir entre varios géneros de hongos patógenos pulmonares incluyendo *Fusarium*, *Aspergillus* y *Mucorales*. El ensayo trabajó tanto en los aislados y diferentes muestras de pacientes. Un segundo método de PCR multiplex en tiempo real utiliza sondas de hibridación para la detección y la cuantificación para *Fusarium proliferatum* patógena humana, *F. subglutinans*, *Temperatum Fusarium* y *F. verticillioides*. La genómica también ha permitido el diseño de los ensayos de PCR multiplex que permite la detección y la discriminación de diversos microorganismos de manera simultánea, como ha sido el caso de los miembros del complejo *Mycobacterium tuberculosis* y *Mycobacterium canetti*. Un avance de la prueba de PCR multiplex ha sido en el que múltiples virus y bacterias pueden detectarse con una sola prueba. Esto disminuye en gran medida los costos para el veterinario en comparación con el enfoque patógeno de un ensayo de PCR descrito. También es útil para enfermedades como BRD cuando varios patógenos virales y bacterianos pueden estar involucrados. Los cebadores que producen diferentes fragmentos de tamaño, permiten la detección simultánea de ácidos nucleicos a partir de varios agentes infecciosos basados en el tamaño del producto. Estas pruebas de PCR multiplex se utilizan a menudo para la detección de virus humanos, especialmente para múltiples virus respiratorios humanos en el diagnóstico diferencial incluyendo la influenza, coronavirus, virus parainfluenza, y virus sincitial respiratorio. Las pruebas de PCR múltiple se han intentado ensayar para la medicina veterinaria, sobre todo con fines de investigación, incluyendo la tipificación de *Salmonella* spp., *Pasteurella multocida*, *Haemophilus parasuis* y toxigénicas de *Escherichia coli* de cerdos y *Clostridium* spp. En carne, recientemente, se describió una prueba

de PCR multiplex para BHV-1, BVDV y PI-3 virus. Varios laboratorios de diagnóstico veterinario están ofreciendo la PCR multiplex para los agentes infecciosos de las especies bovinas, incluyendo agentes BRD.

Con el objetivo de detectar agentes bacterianos asociados a la meningitis, existe una estrategia de PCR multiplex semi-anidada, ha sido aplicada en detecciones simultáneas de *Neisseria meningitidis*, *Haemophilus influenzae*, *Streptococcus pneumoniae*, *Streptococcus agalactiae*, y *Listeria monocytogenes* a partir de fluido cerebroespinal. La primera ronda de amplificación incluye la unión de iniciadores universales de eubacterias de segmentos conservados del gen ribosomal 16S rRNA, que es desplazado por el juego de iniciadores de especies específicas en la segunda ronda de la PCR multiplex.

## PCR en tiempo real

La técnica de PCR en tiempo real se basa en la amplificación y detección simultánea de una secuencia. Este método requiere termocicladores especiales con gran precisión óptica, que permita monitorear la emisión fluorescente de los pozos de la muestra. Estos termocicladores tienen como soporte un software que monitorea la información generada en cada ciclo térmico, generando un gráfico para cada reacción. De esta manera el producto de PCR es detectado en el mismo tiempo en que es producido, utilizando tinciones que se unen preferentemente a la doble cadena de DNA; por ejemplo SYBR verde I es un colorante usado para esta aplicación, el colorante se une a productos específicos y no específicos de los productos de PCR, la especificidad de la detección depende del análisis de la curva de fusión, cuando la temperatura se incrementa lentamente las dos hebras del amplicón se fusionan por separado y la cantidad de fluorescencia decrece, la información es transformada y analizada.

Los lentivirus de pequeños rumiantes (SRLV) son miembros de la familia *Retroviridae* e infectan cabras y ovejas en todo el mundo. La detección de anticuerpos específicos utilizando IGDA y ELISA es el medio comúnmente utilizado para el diagnóstico de la infección LVPR. La técnica de PCR en tiempo real para la detección de SRLV se puede utilizar para mejorar el diagnóstico molecular. En la técnica de PCR en tiempo real o PCR cuantitativa (qPCR), el ADN diana se amplifica y simultáneamente es detectado, acortando el tiempo de diagnóstico. Los dos métodos más comúnmente utilizados actúan a través de colorantes no específicos intercalantes en el DNA de doble cadena, o por medio de

sondas marcadas con fluorescencia. El número de ciclos necesarios para detectar una señal es una indicación de la cantidad inicial de la secuencia diana en la muestra.

Fenollar y colaboradores identificaron un fragmento de siete copias en el genoma de la bacteria *Tropheryma whipplei* y demostraron en un ensayo de RT-PCR dirigidos que este fragmento repetido fue significativamente más sensible que los ensayos dirigidos a un fragmento de una sola copia. Por el contrario, otros investigadores desarrollaron una estrategia llamada “PCR suicida, que se basa en ensayos de PCR anidadas dirigidas a fragmentos del genoma que nunca habían sido utilizados como dianas de PCR anteriormente, y que son dirigidas solamente una vez con un solo uso de cebadores. Estos autores también demostraron una mayor sensibilidad de su método sobre PCR convencional. La orientación de los fragmentos multicopia ha demostrado ser altamente sensible para la detección de la fiebre Q, la enfermedad de Whipple, la brucelosis, y las infecciones causadas por *Mycoplasma pneumoniae* o *Neisseria meningitidis*, mientras que “la técnica PCR suicida” ha sido un éxito en la detección de *Yersinia pestis* de muestras dentales de los brotes de peste antiguas y *Rickettsia* en diversas enfermedades transmitidas por artrópodos.

### Amplificación isotérmica

Es una técnica de amplificación de DNA, se utiliza para detectar enfermedades, se combina con la técnica de transcripción reversa para la detección de RNA, a diferencia de una PCR tradicional esta técnica no se efectúa con series alternadas de temperatura y ciclos, la temperatura es constante y no requiere de un termociclador, trabaja con temperaturas de 60-65 °C y puede utilizar hasta tres juegos de iniciadores.

Los ensayos se consideran más simples, de menor costo y eficaces para la detección de fragmentos específicos de ADN genómico. Los ensayos de LAMP específicos de cada especie de *Eimeria* que se describen ofrecen un nuevo kit de herramienta de diagnóstico en apoyo de un control efectivo de coccidios. Los resultados de la infección *Eimeria* pueden incluir pérdida severa económica, así como comprometer el bienestar de las aves y una mayor susceptibilidad a la colonización por patógenos zoonóticos.

### Métodos de amplificación basados en la transcripción

La amplificación de ácidos nucleicos basados en la secuencia (NASBA) y la amplificación mediada por la transcripción (TMA) son métodos de amplificación isotérmica consecuentes de la replicación retroviral. Estos métodos son muy similares, ya que el objetivo es generar copias de RNA sintetizados con RNA polimerasa a partir de la transcripción reversa de cDNA. NASBA usa un virus RT de mioloblastosis aviar, RNase H y una RNA polimerasa del bacteriófago T7, mientras que TMA usa una enzima RT con RNase endógena con actividad H y una polimerasa T7.

La amplificación involucra la síntesis de cDNA del RNA molde, el iniciador contiene la secuencia promotora de T7 RNA polimerasa, la RNase H degrada la hebra inicial del RNA molde para dar lugar al híbrido de RNA-cDNA, el segundo iniciador se une al cDNA y se extiende con la ayuda de la DNA polimerasa o de la RT, resultando de esta manera la formación de la doble cadena de DNA que contiene el promotor de la RNA polimerasa T7, por lo cual la RNA polimerasa genera múltiples copias de RNA antisentido de cadena simple. Este producto de RNA vuelve a ingresar al ciclo, para la subsecuente formación de más moléculas de cDNA que servirán como molde para la síntesis de RNA. Los productos de cadena sencilla de RNA de la prueba de TMA son analizados y detectados por una metodología con algunas modificaciones de ensayo de hibridación. Se cuenta en el mercado con pruebas de oligonucleótidos etiquetadas con éster de acridina; estos ensayos cuentan con cinéticas de quimioluminiscencia rápidas y lentas, de esta manera permiten que hasta dos señales de la reacción de hibridación sean analizadas simultáneamente en un mismo tubo. Gene-Probe ha desarrollado un ensayo TMA para la detección de tuberculosis, *Chlamydia trachomatis*, entre otros. Comercialmente están disponibles los ensayos para la detección y cuantificación de transcritos de RNA HIV-1 y RNA CMV.

Los análisis transcripcionales de patógenos microbianos a menudo se ven obstaculizados por la baja proporción de biomasa de patógenos en los órganos de acogida, lo que dificulta la cobertura del transcriptoma del patógeno completo. Al abordar los perfiles de transcriptoma de *Candida albicans*, el hongo patógeno más prevalente en pacientes inmunocomprometidos sistémicamente infectados, durante la infección sistémica en diferentes hospederos. Se ha desarrollado una estrategia de alta resolución para el análisis cuantitativo del

transcriptoma de *Candida albicans* directamente de principios y finales de etapas de la infección sistémica en dos modelos diferentes de acogida, el ratón y la *Galleria mellonella*. Los resultados muestran que la secuenciación del transcriptoma (ARN-ss) y las bibliotecas fueron enriquecidas por las transcripciones de hongos hasta 1,600 veces utilizando sondas de cebo con biotina para capturar secuencias de *C. albicans*. De esta manera el 3% de los genes, que pueden ser identificados y eliminados en base a criterios a priori. Esto permite una resolución sin precedentes de *C. albicans* con una detección de más del 86 % de sus genes.

### Amplificación de desplazamiento de cadena

La amplificación de desplazamiento de cadena, SDA por sus siglas en inglés Strand Displacement Amplification, es una amplificación isotérmica que es empleada para la detección de DNA y RNA de una secuencia en particular. La técnica SDA se compone de dos etapas, la generación del objetivo y la amplificación exponencial del objetivo. En la generación del objetivo la doble cadena de DNA es desnaturalizada para ser hibridada con dos pares de iniciadores, designados como iniciadores tope y de amplificación, la amplificación de estos iniciadores implica la participación de una endonucleasa de restricción de cadena sencilla BsoB1 localizada en la región de unión 5'. Los iniciadores de tope son pequeños y se alinean a la secuencia objetivo de DNA río arriba de la región que se desea amplificar. En la presencia de BsoB1, una polimerasa sin actividad exonucleasa y una mezcla de dNTP con dCTP (Cs) tiolado, la extensión de ambos iniciadores de tope y amplificación trabajan simultáneamente. La extensión simultánea de los iniciadores en cadenas opuestas produce hebras complementarias al producto formado en la extensión de la primera amplificación. La enzima BsoB1 reconoce el sitio de unión de la doble cadena, dado que una de las cadenas contiene Cs, este es mellado en lugar de unirse a la enzima. La DNA polimerasa se une al sitio mellado y comienza la síntesis de una nueva copia y simultáneamente río abajo hay desplazamiento de la cadena y este proceso iterativo se repite, las hebras desplazadas son capaces de unirse a las cadenas opuestas de los iniciadores, que producen una amplificación exponencial de las secuencias objetivo. Los productos pueden ser detectados por PCR en tiempo real. Las pruebas de detección son para moléculas copia de cadena sencilla de DNA marcadas con fluoresceína y rodamina. La región entre los marcajes incluye una estructura tallo-bucle, el bucle contiene el sitio de reconocimiento de la enzima BsoB1. La secuencia objetivo específica se etiqueta en la región localizada 3' con rodamina, en la ausencia de un objetivo en específico la estructura tallo-bucle se mantiene con la fluoresceína y la rodamina pierde proximidad. El efecto neto es detectado por la baja emisión de fluoresceína después de la excitación. Las aplicaciones en diagnósticos de la técnica SDA incluyen detección directa de *M. tuberculosis* y *Chlamydia trachomatis*. La técnica SDA ha demostrado una alta sensibilidad de detección con reportes de 10 a 50 copias de moléculas objetivo.

En la Figura 4 se describe el principio amplificación de desplazamiento de cadena. Consiste inicialmente en la hebra de DNA molde junto al iniciador complementario de la secuencia, se genera el alineamiento, posteriormente con la acción de la polimerasa y dNTP se genera la polimerización de la cadena, el desplazamiento de la cadena molde se genera con una endonucleasa de restricción, realiza un marco de lectura, junto con la polimerasa ya identificada la región, desplaza la cadena leída y da lugar a una nueva copia que la polimerasa sintetiza. Dando como productos de reacción a una cadena lista para ser de nuevo desplazada para la generación de una nueva copia, y una cadena molde de DNA que se integra al ciclo en el paso de alineamiento y así consecutivamente hasta lograr las copias necesarias de acuerdo a los ciclos de PCR establecidos.

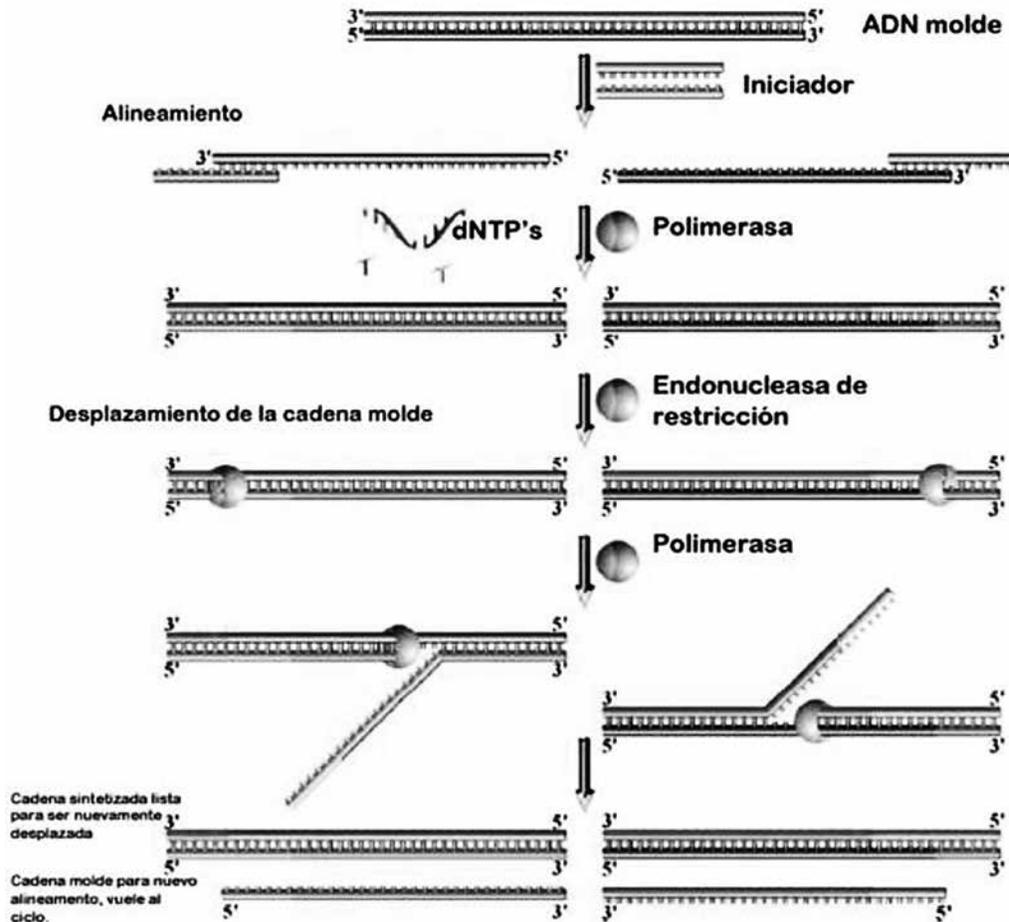


Figura 4. Principio amplificación de desplazamiento de cadena

## Hibridación *in situ*

La técnica de hibridación *in situ* permite detectar secuencias específicas de ácidos nucleicos en cortes tisulares, células o cromosomas morfológicamente preservados. La hibridación *in situ* es un procedimiento que incluye los siguientes pasos: preparación del material biológico, selección y marcación de la sonda, hibridación con la sonda marcada, detección de la sonda, microscopía y análisis de la imagen.

En general hay dos métodos para llevar a cabo la hibridación: los directos y los indirectos. En los métodos directos, el marcador a detectar está unido directamente a la sonda de ácidos nucleicos para así formar híbridos que pueden ser visualizados microscópicamente sin mediar otro tipo de reacción. Para este método es esencial que el marcador permanezca estable en todo el proceso y no interfiera con la hibridación. Las sondas marcadas con fluorocromos son el ejemplo más característico de este método. En los procedimientos indirectos la sonda está marcada con un compuesto que no puede ser visualizado directamente, por el contrario, una vez que se produce la hibridación, éste necesita ser detectado mediante métodos citoquímicos; un ejemplo de este tipo es el complejo biotina-streptavidina-peroxidasa. La hibridación *in situ* es un ensayo relativamente simple de sondas moleculares que a diferencia de PCR, las medidas de la unión directa de una sonda de ácido nucleico complementario al ácido nucleico de un agente infeccioso en una muestra de tejido. La sonda complementaria marcada con fluoresceína se emplea para los propósitos de detección y es un homólogo de base molecular para las pruebas de FA e IHC. La hibridación *in situ* potencialmente puede identificar un pequeño número de los organismos dentro de una preparación específica, y el patólogo puede visualizar si están asociados con focos de inflamación, dentro de los macrófagos, u otros componentes de la lesión. En comparación con IHC convencional,

hibridación *in situ* es potencialmente más sensible y puede identificar un bajo número de copias del ácido nucleico de agentes infecciosos. Es una prueba que puede ser desarrollada y aplicada cuando los anticuerpos específicos no están disponibles, pero siempre y cuando la secuencia de genes para el agente infeccioso es conocida.

### Hibridación fluorescente *in situ*

La hibridación fluorescente *in situ* (FISH) es una herramienta citogenética eficaz y precisa para el mapeo de copia única y secuencias repetitivas de ADN en los cromosomas. Se han realizado intentos con dicha técnica para aumentar la sensibilidad de detección de objetivos muy pequeños, y para mejorar la resolución espacial de las señales derivadas de secuencias de flanqueo. El protocolo de FISH normalmente es utilizado para fragmentos de gran tamaño ( $\lambda$  o BAC). Para prevenir la señal de fondo, se realizan previas supresiones de hibridación, se utilizan procedimientos de lavado y detección estándar para la eliminación de hibridaciones no específicas. El etiquetado de estas sondas se puede realizar con metodologías immuno-histoquímicas, que facilitan la detección de los sitios de hibridación.

FISH es una poderosa herramienta de las técnicas citológicas, y juega un papel importante en los esfuerzos para determinar la estructura del genoma, con sus múltiples condiciones y combinaciones para los diversos estudios implicados

Los métodos usados para la identificación correcta de microorganismos en cultivos de sangre incluyen ensayos inmunológicos comerciales e identificación bioquímica; sin embargo, las variaciones antigénicas y bioquímicas, así como la presencia de más de una especie microbiana, tal como en infecciones polimicrobianas, pueden dar lugar a una interpretación errónea de los datos.

Numerosos estudios han demostrado el valor de las técnicas moleculares, incluyendo PCR y la hibridación, para la amplificación y detección de DNA o RNA microbiano con el fin de identificar bacterias u hongos en muestras clínicas. Sin embargo, las técnicas de PCR son tardadas y costosas. La hibridación *in situ* con secuencias orientadas de oligonucleótidos de rRNA marcados con fluorescencia han demostrado ser un método trazable y rápido para la detección e identificación de patógenos.

El uso de la hibridación fluorescente *in situ* con secuencias de oligonucleótidos de rRNA marcadas con fluorocromos permite una rápida identificación de patógenos en botellas de sangre sin necesidad de cultivos y biotipificación. En la Figura 5. Se observan levaduras con técnica FISH con varias sondas de oligonucleótidos, donde se pueden diferenciar las disímiles cepas de levaduras, dado el diseño específico de sondas para regiones repetitivas de DNA en su genoma, lo que provee una detección diferencial dada la secuencia con el ligando de fluorescencia.

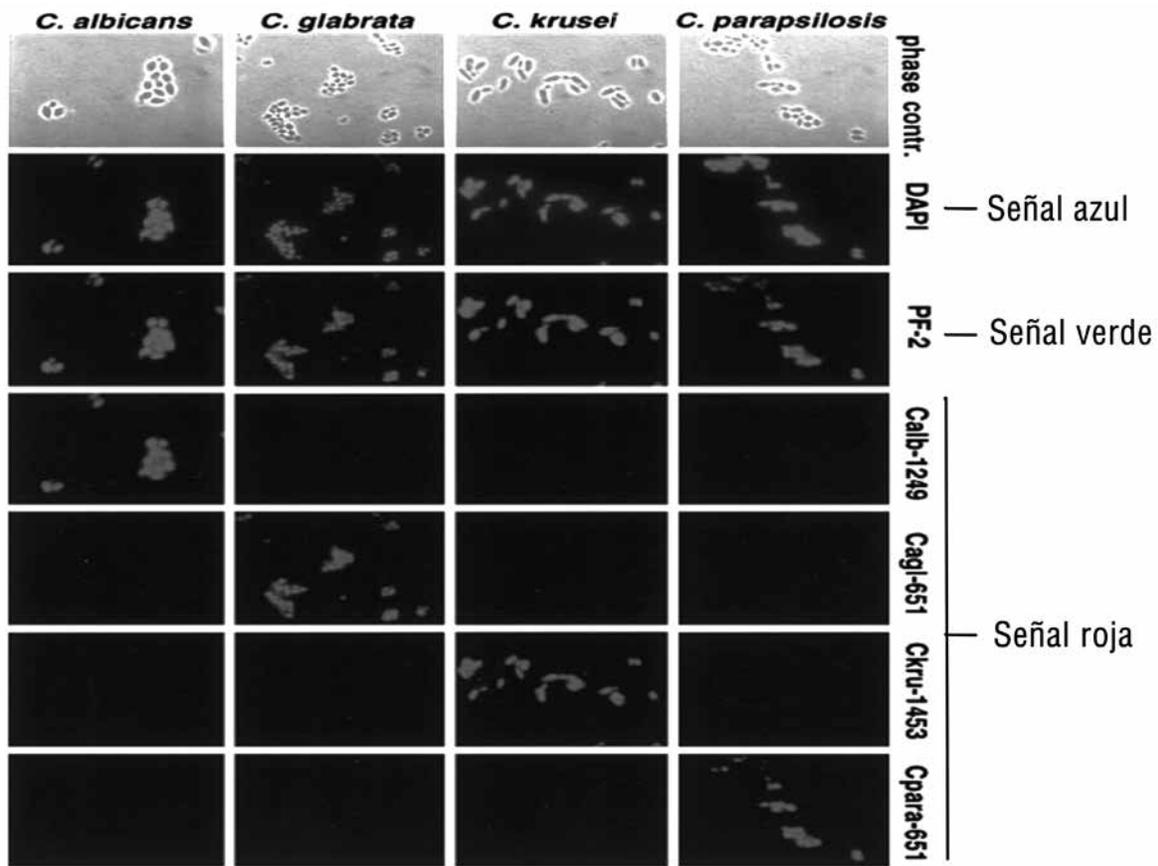


Figura 5. Microscopía de fluorescencia de microorganismos con técnica FISH con varias sondas de oligonucleótidos, (C) *C. albicans*, *C. glabrata*, *C. krusei* y *C. parapsilosis* (columnas verticales) se tiñeron con DAPI (señal azul; tinción de DNA) siguiendo FISH con sondas PF-2-FITC (señal verde; específica para todas las levaduras) y Calb-1249 (específico para *C. albicans*), CAGL-651 (específico para *C. glabrata*), Ckru-1453 (específico para *C. krusei*) y Cpara-651 (específico para *C. parapsilosis*), cada Cy3 marcado (señal en rojo).

## Microarreglos de DNA

Los “arrays” de DNA han demostrado un enorme potencial para casi todos los aspectos de la biología molecular. De hecho, la expresión paralela a gran escala analiza utilizando “arrays” de cDNA reflejan todo el repertorio de transcritos que han revolucionado nuestra comprensión del transcriptoma de una célula en un momento dado. En la actualidad, el término más ampliamente aceptado para una matriz de DNA es un microarray (array microscópica), que significa cualquier soporte sólido a microescala (por ejemplo, membrana de nylon, nitrocelulosa, vidrio, cuarzo, oro, oblea de silicio, u otro material sintético) sobre la cual los fragmentos de DNA, los productos de PCR, los cDNA de longitud completa o fragmentos de cDNA, oligonucleótidos de entre 15 a >80 nucleótidos, genes o fragmentos de genes, marcos de lectura abiertos, péptidos o proteínas (por ejemplo, anticuerpos), son vistos en un patrón ordenado de alta densidad. Tales microarrays (en la jerga de laboratorio, chips) se utilizan cada vez más para la expresión de alto rendimiento de perfiles desde bacterias hasta genética humana. Actualmente, algunos cientos de microarrays diferentes se utilizan para diversos propósitos y se encuentran disponibles, que van desde los “arrays” de anticuerpos a “arrays” de expresión de cDNA, y desde las matrices de transgenes a “arrays” de oligonucleótidos de todo el genoma, por nombrar sólo unos pocos. En algunas zonas de los avances innovadores de fabricación de microchips ya se han hecho, como el mecanizado de microcanales para microarrays de nanofluidicos. Además, las tecnologías de detección se están perfeccionando y han dado lugar a la llegada de las matrices de fibra óptica. Cada vez se utilizan más las matrices de todo un genoma (por ejemplo, para la transcriptómica comparada) y muchos microarrays completos del genoma bacteriano ya sirven para descifrar las diferencias de transcripción en diferentes especies. El enorme potencial de los microarrays no sólo se explota para el análisis de la expresión génica, sino también para la detección

genética y diagnóstica (por ejemplo, la detección de SNP o tipificación HLA). Algunos de los cuales pueden permitir la detección e identificación de más de 2,000 agentes virales y 900 especies de bacterias a la vez. Nsofor revisó recientemente las aplicaciones de microarrays para el diagnóstico sindrómico de las enfermedades infecciosas, algunas de las cuales, como la v2.0 Panel ResPlex II (Qiagen, Hilden, Alemania) y el FilmArray Panel Respiratorio (BioMerieux, Marcy L'Etoile, Francia) para las infecciones respiratorias, están disponibles comercialmente. Para el diagnóstico médico humano se han diseñado amplios microarrays que se utilizan para el diagnóstico de diversos patógenos de los pacientes, y en los intentos de medicina veterinaria están en marcha para desarrollar microarrays de amplio espectro para las pruebas de diagnóstico. Esta es una tecnología multiplex, que consiste en miles de puntos microscópicos de oligonucleótidos de DNA para secuencias específicas de DNA conocidas como sondas. La hibridación de una sonda específica se detecta y se cuantifica mediante la detección de un fluoróforo, plata, o quimioluminiscencia para revelar la abundancia de las secuencias de ácidos nucleicos en el objetivo. Los microarrays se han utilizado para estudiar la patogénesis y las interacciones hospedero-patógeno, así como para detectar y describir varios patógenos de origen animal. El uso de microarrays requiere un cumplimiento estricto de los controles adecuados, y una experiencia sustancial por parte del diseño de los arreglos y la realización de los ensayos.

### PCR digital

La PCR digital es una nueva herramienta para la detección y cuantificación de ácidos nucleicos, ofrece un método alternativo a la PCR en tiempo real, proporciona una cuantificación completa y se emplea para la detección de alelos raros. La PCR digital funciona mediante la partición de una muestra de DNA o cDNA en una gran cantidad de reacciones individuales de PCR paralelas. Algunas de estas reacciones contienen objetivos (positivo) mientras que otros no (negativo); una sola molécula puede ser amplificada un millón de veces durante la amplificación, el marcaje de las pruebas puede ser detectado a nivel secuencia, cuando no hay secuencia no hay acumulación de la señal, la fracción de las reacciones negativas es usada para generar un conteo absoluto del número de moléculas objetivo en la muestra, sin necesitar de controles endógenos. El uso de chips de núcleo-fluidos provee una conveniente estrategia para el ensayo de múltiples ensayos de PCR en paralelo. Tiene una alta tolerancia a inhibidores, gran capacidad de analizar complejas mezclas de reacción, trabaja con detección lineal de pequeños cambios en el doblez. En la Figura 6 se muestra la metodología comprendida en un ensayo de PCR digital. Consiste en la preparación de la muestra que puede ser gDNA, cDNA, RNA e inclusive plasma; las muestras son particionadas en múltiples reacciones, generando una distribución del material, consecuentemente se lleva a cabo la reacción en cadena de la polimerasa, para la cuantificación se genera un registro visual, aquellas reacciones positivas muestran una coloración roja y las negativas la ausencia de coloración con una tonalidad grisácea.

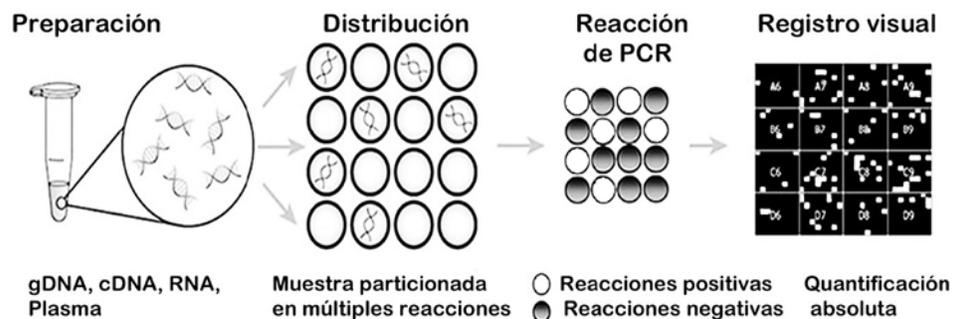


Figura 6. Metodología PCR digital

## Basados en proteína

Las técnicas de identificación basadas en péptidos han sido descritas en gran parte a partir de ensayos de inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA) de trabajo en *Fusarium* se han detectado trabajos en el cual ataca a las micotoxinas específicas que son producidas en plantas, se desconoce si estos compuestos son también producidos en el tejido del paciente o si estas moléculas, se derivan de la ingesta de alimentos. La mayoría de los anticuerpos dirigidos a *Fusarium* no son específicos de especie, y por lo tanto podrían ser utilizados para determinar una fusariosis, pero no se puede obtener un diagnóstico a nivel de especie, por ejemplo. Los límites de detección para el rango de ELISA de 0.1 a 1 g de micelio por mililitro de producto probado. Varios anticuerpos y kits de ELISA para *Fusarium* están disponibles comercialmente, pero parece que ninguno se utiliza en laboratorios de hospitales. La técnica de desorción láser / ionización por espectrometría de masas asistida por matriz-tiempo (MALDI-TOF MS) es una herramienta emergente para la identificación rápida y clasificación de microorganismos cultivados sobre la base de sus espectros de proteínas. Diferentes empresas comerciales suministran sistemas MALDI-TOF MS. Sistemas como VITEK (bioMérieux, Marcy l'Etoile, Francia) o Biotyper (Bruker Daltronics Inc, Billerica, MA), vienen con su propio software de procesamiento y base de datos espectrales con cepas de referencia. Para las bacterias y levaduras, las bases de datos necesarias están más avanzadas que las de hongos filamentosos. Sin embargo, los estudios realizados sobre las especies de *Fusarium* son muy prometedores con tasas de éxito de la identificación a nivel de especie de 82 a 99 %.

Sin embargo, las condiciones de crecimiento como el tipo y la fase (sólido / líquido) de los medios de comunicación, el tiempo del cultivo examinado, el tipo de estructuras con o sin esporas y el tratamiento del hongo, pueden influir en el espectro resultante. La parte limitante para el nivel de identificación para una plataforma dada, parece ser la fiabilidad y nivel de identificación de las cepas utilizadas para la producción de base de datos. Los estudios mencionados sobre la detección de *Fusarium* mediante análisis MALDI-TOF MS se basan en cultivos puros. En un estudio sobre micosis oculares informaron que con MALDI-TOF MS, las fusariosis podía distinguirse de otros agentes etiológicos, mientras que algunos autores mostraron que los perfiles de proteínas lacrimales están influenciados por el patógeno *Fusarium*. Los estudios sobre las infecciones por

*Candida* en el torrente sanguíneo sugieren que también en muestras de sangre, la detección de hongos directa puede ser posible.

## Inmunológicos

La inmunohistoquímica (IHC) se ha convertido en una herramienta de diagnóstico muy utilizada en los laboratorios de diagnóstico veterinario. Se usa cuando los tejidos infectados embebidos en parafina están disponibles como material de arranque. El uso potencial de IHC para la identificación de los virus en las células obtenidas a partir de BAL bovina ha sido demostrado. En el caso de los tejidos, el bloque de parafina se secciona y se montan en portaobjetos como se realiza para las preparaciones de histopatología de rutina. Las secciones se desparafinan, hidrolizan y se digieren con proteinasa, y se incuban con suero inmune monoespecífica o un anticuerpo monoclonal y un antígeno específico. Las secciones se hacen reaccionar con inmunoglobulina específica, es un antisuero etiquetado con una enzima tal como peroxidasa de rábano picante. La enzima reacciona con un sustrato de color, y la reacción da un color localizado para la identificación del antígeno en la sección de tejido. Esto permite la detección del antígeno dentro de una lesión o dentro de las células específicas por microscopía de luz. La prueba positiva IHC junto con la presencia de lesiones microscópicas ofrece la evidencia más fuerte para un agente infeccioso si está asociada con lesiones o no. La exactitud de la prueba IHC depende de la especificidad del anticuerpo monoclonal o suero hiperinmune para el agente infeccioso. La limitación de esta prueba es a menudo la falta de anticuerpos monoclonales reactivos a agentes seleccionados, especialmente los recién reconocidos que se requieren.

## Electroforesis bidimensional

Una sucesión de dos electroforesis distintas (o en distintas condiciones) realizadas sobre una misma muestra. En la primera de ellas (primera dimensión), se separan los componentes de la muestra según un criterio (carga, tamaño o pI), y en la segunda (segunda dimensión) según un parámetro distinto del anterior. De esta manera, se combinan dos modos de separación diferentes y se consigue el máximo de resolución posible mediante técnicas electroforéticas.

La primera dimensión puede llevarse a cabo, por ejemplo, en condiciones no desnaturizantes y la segunda en condiciones desnaturizantes; las proteínas ribosomales se separan en un gel

discontinuo en la primera dimensión, seguido por otro continuo en la segunda, y ambos en presencia de urea; las histonas se separan en geles con urea y ácido en la primera dimensión y utilizando tritón, ácido y urea en la segunda.

Sin embargo, normalmente la idea de electroforesis bidimensional suele referirse a la combinación de los dos tipos de electroforesis más resolutivos: electroenfoque (primera dimensión) y SDS-PAGE (segunda dimensión). La electroforesis bidimensional puede considerarse como un criterio de pureza positivo, debido a su gran poder de resolución, aceptándose que la aparición de una sola mancha indica una muestra homogénea.

La aplicación principal de la 2D-PAGE es la proteómica de expresión. En esta aproximación, la expresión de proteínas de dos muestras se puede comparar de forma cuantitativa. La aparición o desaparición de manchas proporciona información sobre la expresión diferencial de proteínas y la intensidad de las manchas permite conocer los niveles de expresión. Para realizar estos estudios se pueden utilizar organismos completos, líneas celulares o fluidos biológicos. Se pueden comprar tejidos normales con tejidos enfermos, o células tratadas con drogas o diferentes estímulos. En la Figura 7 se muestra el principio de la técnica. Para la primera dimensión (SDS-PAGE). En el pocillo I se aplica el marcador de pesos moleculares y en los pocillos II y III la muestra. El carril del pocillo III (sombreado) se corta y el resto del gel se tiñe. El carril III se coloca sobre un nuevo gel que se ha polimerizado sin pocillos, donde se desarrolla la segunda dimensión (EEF) perpendicularmente a la primera. Obsérvese que algunas bandas producen más de una mancha en la segunda dimensión.

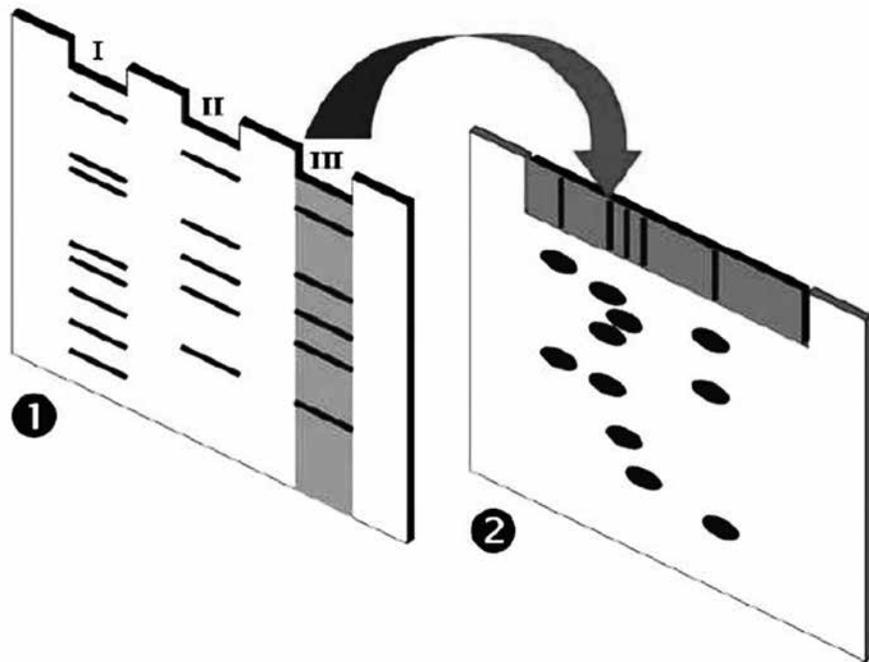


Figura 7. Principio electroforesis bidimensional

## Espectrofotometría

El análisis de las proteínas mediante espectrometría de masas ha sido posible gracias al desarrollo de varios métodos de ionización suave para convertir biomoléculas grandes, polares y no volátiles en iones en fase gaseosa. Los espectrómetros de masa están formados al menos por una fuente de iones, un analizador de masas y un detector que mide la relación masa/carga ( $m/z$ ) de los iones en fase gaseosa.

## Tecnología MALDI-TOF

La espectrometría de masas (EM) MALDI-TOF se ha convertido en un recurso de referencia para la identificación de microorganismos en los servicios de microbiología clínica. No obstante, los datos relativos a algunos grupos de microorganismos son todavía controvertidos. La espectrometría de masas (EM) MALDI-TOF ha revolucionado la metodología de identificación de microorganismos en microbiología clínica por su rapidez, fiabilidad y bajo coste en consumibles. Diversos estudios demuestran su gran fiabilidad en la identificación de diferentes grupos de microorganismos (Enterobacterias, Bacilos gram negativos no fermentadores, Staphylococcus, Levaduras, etc.). Sin embargo, algunos grupos de microorganismos presentan todavía limitaciones, como es el caso de los *Streptococcus* del grupo viridans, o han sido estudiados de manera menos detallada, como ocurre, entre otros grupos, con las bacterias anaerobias. Mientras algunos estudios muestran porcentajes de identificación correcta muy satisfactorios, otros ofrecen porcentajes que no van más allá del 60 a 70 %. Por otra parte, existen estudios que demuestran que, probablemente, la identificación bioquímica clásica de estos microorganismos tenía una resolución insuficiente para la identificación de la gran variedad de bacterias anaerobias potencialmente patógenas para el hombre. De este modo, agrupaba dentro de la misma especie a microorganismos en realidad diferentes, y era incapaz de identificar a otros, llevando en conjunto a una considerable simplificación de la etiología de las infecciones por bacterias anaerobias. La disponibilidad de técnicas de mayor resolución, como la secuenciación del 16S rRNA, y sobre todo la EM MALDI-TOF, mucho más aplicable en la rutina diaria del Laboratorio de Microbiología Clínica, probablemente dará una visión más exacta de la complejidad real del grupo de los microorganismos anaerobios patógenos y de la importancia como patógenos de especies que, hasta ahora, estaban probablemente infradiagnosticadas.

Se ha utilizado para analizar un subconjunto de la mastitis asociada estreptococos y cocos relacionada. MALDI-TOF MS se está volviendo más y más prominente en el diagnóstico clínico humano. Una vez que ya se ha establecido en microbiología clínica, pero aún es raramente utilizado para el diagnóstico de rutina en la medicina veterinaria. Por ejemplo, MALDI-TOF es, en principio, adecuado para la identificación de patógenos causantes de mastitis subclínica. La identificación y la discriminación de especies bacterianas mediante MALDI-TOF MS se basa principalmente en las proteínas ribosomales, mientras que la espectroscopia de FTIR cubre toda la composición bioquímica de una célula para explicar la mayor potencia discriminatoria de la última técnica.

El diagnóstico rutinario de *Streptococcus* spp. y la mastitis asociada a cocos gram positivos, se realizan con pruebas como catalasa, que todavía se basa en pruebas bioquímicas y métodos serológicos, que con frecuencia proporcionan resultados de identificación ambiguos. Por lo tanto, se tiene como objetivo establecer un sistema de identificación preciso para el diagnóstico diferencial de la mastitis asociada *Streptococcus* spp. y especies afines, usando técnicas biofísicas como MALDI-TOF / MS. Este estudio demuestra claramente que la espectroscopia MALDI-TOF MS puede significativamente mejorar y facilitar la identificación y diferenciación de mastitis asociada *Streptococcus* spp. y especies afines. En términos de identificación a nivel de especie, MALDI-TOF MS ofrece alternativas interesantes a los métodos convencionales que se utilizan actualmente en el diagnóstico de la mastitis, ya que ofrece una gran precisión a bajos costos de operación una vez que se adquiere el instrumento.

El patrón característico de proteínas ribosomales, que representan aproximadamente el 60 a 70 % del peso en seco de una célula microbiana, en el rango de masa de 2 a 20 kDa se utiliza para identificar un microorganismo particular, haciendo coincidir su PMF patrón con los PMF de las proteínas ribosomales contenidas en una extensa base de datos abierta. Por lo tanto, la identidad de un microorganismo se puede establecer hasta el género, y en algunos casos a nivel especie y cepa. Este enfoque es ampliamente utilizado en la identificación microbiana, porque es simple y puede ser convenientemente adoptado en un laboratorio de diagnóstico microbiano, ayudado por la disponibilidad de muchas bibliotecas comerciales de organismos FPC. Identificación microbiana, hace coincidir las masas de biomarcadores con las masas moleculares de las proteínas predichas de

la secuencia del genoma, esto no es muy popular en los laboratorios de diagnóstico microbiológico, ya que requiere el conocimiento de la secuencia completa del genoma de un organismo antes de una base de datos de sus proteínas prediciendo masas moleculares que podrían ser creadas.

### Microarreglos de proteínas

En la era post genómica, los genes correspondientes a proteínas son estudiados robustamente, permitiendo la identificación intra e interespecifica de especies de proteínas en plataformas de interacción, permitiendo el desarrollo experimental de técnicas de escala molecular. Los arrays de proteínas permiten el estudio en forma simultánea y masiva de miles de proteínas. Sin embargo, en comparación a los arrays de DNA, las de proteínas aún tienen muchos retos pendientes. La mayoría tienen su origen en la necesidad de mantener la integridad estructural y propiedades fisicoquímicas de las proteínas, fruto de su complejidad y variabilidad. Sin embargo, a pesar de estos retos y teniendo en cuenta el papel fundamental de las proteínas, se ha desarrollado y mejorado la generación de arrays de proteínas como sus múltiples aplicaciones. En general, el método de detección ideal para arrays de proteínas debe incluir parámetros de sensibilidad y límite de detección, un rango dinámico, capacidad de multiplicación multiplex y nivel de resolución. Fluorocromos como las cianinas (Cy3 y Cy5) se encuentran entre los más empleados para la detección en microarrays de proteínas, debido principalmente a su mínima interacción con otras biomoléculas, la intensidad y la alta variedad para su conjugación química. Teniendo en cuenta esto, se han obtenido interesantes resultados con doble fluorescencia para la identificación de biomarcadores tanto de cáncer como de suero de pacientes con fibrosis quística.

### Basados en lípidos y carbohidratos

#### Métodos inmunológicos

Los métodos inmunológicos son empleados en ámbito clínico y veterinario para la detección de componentes de los microorganismos, o determinar si un individuo estuvo en contacto con éste vía la detección de los anticuerpos producidos por éste, después de que se montó una repuesta inmunológica hacia los antígenos de los microorganismos. Las pruebas basadas en la técnica de ELISA (de sus siglas en inglés, ELISA: enzyme linked immunosorbent assay) se fundamentan en la detección de antígenos específicos de los

microorganismos al colocar la muestra dentro de un soporte que contiene anticuerpos específicos, y mediante el uso de reacciones cromogénicas se realiza la detección. La inmunofluorescencia permite la detección de antígenos de los microorganismos en preparaciones fijas de los tejidos que presenten lesiones, o donde se espera encontrar a los microorganismos (*in situ*); también es de utilidad para poner de manifiesto ciertas estructuras de los microorganismos, esto se ha utilizado en el estudio de biopsias de piel tratadas, que incluye el uso de microondas para diagnóstico oportuno del virus de la diarrea viral bovina en animales persistentemente infectados.

### Espectroscopia RAMAN

Una de las nuevas estrategias empleadas para la detección de microorganismos es la microespectroscopia RAMAN, esta técnica analiza la composición de las células microbianas (ácidos nucleicos, proteínas, hidratos de carbono, ácidos grasos, entre otros), con lo que se pueden comparar al igual que la identificación por espectrometría de masas, la presencia o no de ciertos compuestos que permiten distinguir las diferencias entre las diversas cepas microbianas, algunos estudios descritos se han realizado en la clasificación e identificación de cepas de *Campylobacter jejuni*, así como la detección del género *Brucella*.

## VI.6.3 SECUENCIACIÓN MASIVA: METAGENÓMICA

El desarrollo de las tecnologías de secuenciación masiva ha permitido la descripción de los microbiomas en diferentes ambientes, tanto para la descripción de la estructura de las comunidades microbianas, la metagenómica y la transcriptómica. Las diferentes plataformas de secuenciación masiva permiten obtener las secuencias de fragmentos de un tamaño corto (100-500 pb), los abordajes en las plataformas de siguiente generación de secuenciación generan una cantidad de secuencias que va de 1 Gpb hasta los 600 Gpb, esta cantidad de información es analizada con los avances computacionales para los análisis *in silico* con softwares que permiten determinar la calidad y confiabilidad de las secuencias. Esta información permite hacer comparaciones de genomas completas para la identificación o tipificación de microorganismos y organismos; además permite a analizar las interacciones metabólicas presentes en las comunidades microbianas. Un ejemplo es la descripción de metaviomas y microbiomas de materia fecal, como en el caso de aves o

rumiantes, con lo que se ha demostrado el cambio que presentan bajo diferentes condiciones ambientales, así como para la monitorización de agentes patógenos de vida libre.

## VI.7 LITERATURA CONSULTADA

Adler B. Pathogenesis of leptospirosis: Cellular and molecular aspects. *Veterinary Microbiology* 2014; 172: 353-358.

Allan KJ, Biggs HM, Halliday JEB, Kazwala RR, Maro VP, Cleaveland S, Crump JA. Epidemiology of Leptospirosis in Africa: A Systematic Review of a Neglected Zoonosis and a Paradigm for 'One Health' in Africa. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 2015; 14: 2-25.

Arellano-Reynoso B, Lapaque N, Salcedo S, Briones G, Ciocchini AE, Ugalde R, Moreno E, Moriyón I, and Gorvel JP. Cyclic beta-1,2-glucan is a *Brucella* virulence factor required for intracellular survival. *Nat. Immunol.* 2005; 6 (6): 618-625.

Arellano-Reynoso B, Suárez-Güemes F, Mejía Estrada F, GómezFlores M, Hernández-Castro R, Díaz-Aparicio E. Isolation of a field strain of *Brucella abortus* from RB51-vaccinated- and brucellosis-seronegative bovine yearlings that calved normally. *Tropical Animal Health and Production* 2012. .7

Arenas AJ, González-Parra G, Moraño J-A. Stochastic modeling of the transmission of respiratory syncytial virus in the region of Valencia, Spain. *Biosystems* 2009; 96(3):206-12.

Baines D, Erb S, Turkington K, Kuldau G, Juba J, Masson L, and Roberts R.. Mouldy feed, mycotoxins and Shiga toxin-producing *Escherichia coli* colonization associated with Jejunal Hemorrhage Syndrome in beef cattle. *BMC Vet Res* 2011; 7:24.

Balakrishnan G, Roy P. Comparison of efficacy of two experimental bovine *Leptospira* vaccines under laboratory and field. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 2014; 159: 11-15.

Barbier T, Collard F, Zúñiga-Ripa A, Moriyón I, Godard T, Becker J, Wittmann C, Van Schaftingen E and Letesson JJ. Erythritol feeds the pentose phosphate pathway via three new isomerases leading to D-erythrose-4-phosphate in *Brucella*. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2014;111(50):17815-17820.

Barbosa Mireles M, Salazar García F, Fernández Rosas P, Montes de Oca R. 2013. Detección de anticuerpos serológicos contra *Chlamydia abortus* en dos grupos de personas expuestas a riesgo en explotaciones ovinas en Xalatlaco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16:483-486.

Bertu WJ, Ducrotoy MJ, Muñoz PM, Mick V, Zúñiga-Ripa A, Bryssinckx W, Kwaga JK, Kabir J, Welburn SC, Moriyón I and Ocholi RA. Phenotypic and genotypic characterization of *Brucella* strains isolated from autochthonous livestock reveals the dominance of *B. abortus* biovar 3a in Nigeria. *Vet Microbiol.* 2015;180(1-2):103-108.

Bronner A, Morignat E, Gay E and Calavas D. An optimal cut-off point for the calving interval may be used as an indicator of bovine abortions. *Prev Vet Med.* 2015;121(3-4):386-390.

Campos-Hernandez E, Vazquez-Chagoyan C, Salem AZ, Saltijeral-Oaxaca JA, Escalante-Ochoa C, Lopez-Heydeck SM, De Oca-Jimenez RM. 2014. Prevalence and molecular identification of *Chlamydia abortus* in commercial dairy goat farms in a hot region in Mexico. *Tropical Animal Health and Production.* 46:919-924.

Carrisoza UI, Medina CM, Palomares-Reséndiz EG, and Díaz-Aparicio E. Transmisión de *Brucella abortus* en becerras menores de tres meses diagnosticadas por medio de las pruebas de tarjeta e inmunodifusión radial en dos hatos lecheros del estado de Querétaro. 2014. *Veterinaria México;* 44 (2).

Celli J, Gorvel JP. Organelle robbery: *Brucella* interactions with the endoplasmic reticulum. *Curr Opin Microbiol* 2004; 7 (1): 93-97.

Chaban B, Chu S, Hendrick S, Waldner C, Hill JE. 2012. Evaluation of a *Campylobacter fetus* subspecies *venerealis* real-time quantitative polymerase chain reaction for direct analysis of bovine preputial samples. *Can J Vet Res.* 76: 166-173.

Chu HY, Kuypers J, Renaud C, Wald A, Martin E, Fairchok M, Magaret A, Sarancino M, Englund JA. Molecular epidemiology of respiratory syncytial virus transmission in childcare. *Journal of Clinical Virology* 2013;57(4):343-50.

Córdova IA., Córdova JCA., Córdova JMS., Saltijeral OJA., Ruiz LCG., Xolalpa-CVM., Cortés SS., Guerra LJE. Seroprevalencia de enfermedades causantes de aborto bovino en el trópico húmedo mexicano. *Enfermedades abortivas en bovinos. Rev Vet* 2007; 18 (2): 139–142 .

- Cortes VS, Cravens RL, Dominguez J. The prevalence of bovine virus diarrhoea and bovine respiratory syncytial virus in Mexico. *Bovine Practitioner* 1991; 26:159–161.
- Diaz-Aparicio E. Epidemiología de la brucelosis causada por *Brucella melitensis*, *Brucella suis* y *Brucella abortus* en animales domésticos. *Brucellosis: recent developments towards 'One Health'* Rev. sci. tech. Off. int. Epiz. 2013; 32 (1): 43-51
- Dirar BG, Nasinyama GW and Gelalcha BD. Seroprevalence and risk factors for brucellosis in cattle in selected districts of Jimma zone, Ethiopia. *Trop Anim Health Prod.* 2015;47(8):1615-9.
- Dorneles EM, Sriranganathan N and Lage AP. Recent advances in *Brucella abortus* vaccines. *Vet Res.* 2015;46:76.
- Douillard FP, and de Vos WM. Functional genomics of lactic acid bacteria: from food to health. *Microb Cell Fact* 2014; 13(Suppl 1):S8.
- Englen MD, Ladely SR, Fedorka-Cray PJ. 2003. Isolation of *Campylobacter* and identification by PCR. *Methods Mol Biol.* 216:109-121.
- Fosgate GT, Diptee MD, Ramnanan A and Adesiyun AA. Brucellosis in domestic water buffalo (*Bubalus bubalis*) of Trinidad and Tobago with comparative epidemiology to cattle. *Trop Anim Hlth Prod* 2011; 43 (8): 1479–1486.
- Fuentes Delgado MD, Vitela MI, Arellano RB, Hernández CR, Morales AF, Cruz VC, Suarez GF, Diaz AE, Presence of *Brucella abortus* vaccinal strain RB51 in vaginal exudates of aborted cows, *Research Journal of Dairy Science* 2007; 1(1.4): 13-17.
- Garcia ML, Forster RK, Jorge S, Rodrigues ON, Drawanz HD, Goncalves AM, Pinho HC, Dellagostin OA. Immunological and molecular characterization of *Leptospira interrogans* isolated from a bovine foetus. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 2015; 40: 41–45.
- Gershwin LJ, Schelegle ES, Gunther RA, Anderson ML, Woolums AR, Larochele DR, Boyle GA, Friebertshauser KE, Singer RS A bovine model of vaccine enhanced respiratory syncytial virus pathophysiology *Vaccine* 1998; 16 (11–12):1225–1236.
- Gill JJ, Pacan JC, Carson ME, Leslie KE, Griffiths MW, and Sabour PM. Efficacy and Pharmacokinetics of Bacteriophage Therapy in Treatment of Subclinical *Staphylococcus aureus* Mastitis in Lactating Dairy Cattle. *Antimicrob Agents Chemother* 2006; 50(9):2912–2918.
- Grissett GP, White BJ, Larson RL. Structured literature review of responses of cattle to viral and bacterial pathogens causing bovine respiratory disease complex .*J Vet Intern Med.* 2015;29(3): 770-780.
- Hamond C, Martins G, Loureiro AP, Pestana C, Lawson FR, Medeiros MA., Lilienbaum W. Urinary PCR as an increasingly useful tool for an accurate diagnosis of leptospirosis in livestock. *Vet Res Commun* 2014; 38:81–85.
- Herrera-López E, Suárez-Güemes F, Hernández AL, Córdova LD, Díaz-Aparicio E. Epidemiological study of Brucellosis in cattle, immunized with *Brucella abortus* RB51 vaccine in endemic zones. *Vaccine* 2010; 28 (5): F59–F63.
- Hoffer MA. 1981. Bovine campylobacteriosis: A review. *Can Vet J.* 22(11): 327-330.
- Hum S, Quinn K, Brunner J, On SLW. 1997. Evaluation of a PCR assay for Identification and differentiation of *Campylobacter fetus* subspecies. *Aust Vet J.* 75(11): 827-831.
- Joo Youn Park, Lawrence K. Fox, Keun Seok Seo, Mark A. McGuire, Yong Ho Park, Fred R. Rurangirwa, William M. Sischo, and Gregory A. Bohach. Comparison of phenotypic and genotypic methods for the species identification of coagulase-negative staphylococcal isolates from bovine intramammary infections. *Vet Microbiol* 2011; 147(0):142–148.
- Junqueira DG Jr, Dorneles EM, Gonçalves VS, Santana JA, Almeida VM, Nicolino RR, Silva MX, Mota AL, Veloso FP, Stynen AP, Heinemann MB and Lage AP. Brucellosis in working equines of cattle farms from Minas Gerais State, Brazil. *Prev Vet Med.* 2015;121(3-4):380-5. Kavanagh V, Brian MA, Welsh M,
- TG, Sol J, Westenbrink F, Straver PJ. A severe outbreak of respiratory-tract disease associated with bovine respiratory syncytial virus probably enhanced by vaccination with modified live vaccine *Veterinary Quarterly* 1989; 11 (4) : 250–253.
- Langlois BE, Harmon RJ, and Akers K (1983). Identification of *Staphylococcus* species of bovine origin with the API Staph-Ident system. *J Clin Microbiol.*; 18(5):1212-1219.

- Lee M, Reed A, Estill C, Izume S, Dong J, Jin L. Evaluation of BHV-1 antibody titer in a cattle herd against different BHV-1 strains. Vet Microbiol. 2015;179(3-4):228-232..
- Lilenbaum W and Martins G. Leptospirosis in Cattle: A Challenging Scenario for the Understanding of the Epidemiologic. Transboundary and Emerging Diseases 2014; 61: 63–68.
- Limón GMM, Favila HLC, Herrera LE, Lozano DRR, Melendez SRM, Morales AJF, Díaz AE, Vitela MI, Cordoba LD. 2011. Clamiodofilosis en vacas lecheras con problemas reproductivos en Guanajuato y Aguascalientes: Resultados preliminares. Memorias de la XLVII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, Mérida, Yucatán, México.
- Mai HM, Irons PC, Kabir J, Thompson PN. A large seroprevalence survey of brucellosis in cattle herds under diverse production systems in Northern Nigeria. BMC Vet Res. 2012;8:144-152
- Mai HM, Irons PC, Kabir J, Thompson PN. Herd-level risk factors for Campylobacter fetus infection, *Brucella* seropositivity and within-herd seroprevalence of brucellosis in cattle in Northern Nigeria. Prev Vet Med. 2013;111:256–67.
- Meisel S, Stöckel S, Elschner M, Melzer F, Rösch P, Popp J. Raman Spectroscopy as a Potential Tool for Detection of *Brucella* spp. in Milk. Appl Environ Microbiol 2012; 78(16):5575-5583.
- Mejía SP, Díaz AE, Aguilar RF, Palomares RG, Jiménez SH, Castañeda RV, Cortés PYA. 2014. Seroprevalencia y factores de riesgo asociados a Chlamydia abortus en México. Memorias de la L Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, Mérida, Yucatán, México.
- Mellado M, Garcia AM, Arellano-Reynoso B, Diaz-Aparicio E and Garcia JE. Milk yield and reproductive performance of brucellosis-vaccinated but seropositive Holstein cows Tropical Animal Health and Production 2014; 46 (2): 391-397
- Mihalov-Kovács E, Fehér E, Martella V, Bányai K, Farkas SL. The fecal virome of domesticated animals. VirusDisease 2014; 25(2):150-157.
- Mittman SA., Huard RC, Della-Latta P, Whittier S. Comparison of BD Phoenix to Vitek 2, MicroScan MICroSTREP, and Etest for Antimicrobial Susceptibility Testing of Streptococcus pneumoniae. J Clin Microbiol 2009. November; 47(11):3557-3561.
- Mora DJC, Díaz AE, Herrera LE, Suárez GF, Escalante OC, Jaimes VS, and Arellano-Reynoso B. 2015. Isolation of Chlamydia abortus in dairy goat herds and its relation to abortion in Guanajuato, Mexico. Veterinaria MexicoOA Vol. 2 No. 1
- Morris CA. A review of genetic resistance to disease in Bos Taurus cattle. Vet J 2007; 174 (3): 481-491.
- Mshelia GD, Amin JD, Woldehiwet Z, Murray RD, Egwu GO. 2010. Review Article. Epidemiology of bovine venereal Campylobacteriosis: Geographic distribution and recent advances in molecular diagnostic techniques. Reprod Dom Anim. e221-e230.
- Plommet M, Renoux G, Philipon A, Gestin J and Fensterbank R. Congenital transmission of bovine brucellosis from one generation to another. Bull Acad Vet Fr 1971; 44 (1): 53-59.
- Qu A, Brulc JM, Wilson MK, Law BF, Theoret JR, Joens LA, White BA. Comparative Metagenomics Reveals Host Specific Metavirulomes and Horizontal Gene Transfer Elements in the Chicken Cecum Microbiome. PLoS ONE 2008; 3(8):e2945.
- Ramos GAB. Frecuencia de Rinotraqueitis Infecciosa Bovina (IBR), Diarrea Viral Bovina (DVB) y Leptospirosis en bovinos de doble propósito, en el municipio de San Juan Cotzocón, Oaxaca, México (tesis de licenciatura). México: UNAM, 2014.
- Razzauti M, Galan M, Bernard M, Maman S, Klopp C, Charbonnel N, Cosson JF. A Comparison between Transcriptome Sequencing and 16S Metagenomics for Detection of Bacterial Pathogens in Wildlife. PLoS Negl Trop Dis 2015; 9(8):e0003929.
- Read DS, Woodcock DJ, Strachan NJC, Forbes KJ, Colles FM, Maiden MCJ, Sheppard SK. Evidence for Phenotypic Plasticity among Multihost Campylobacter jejuni and C. coli Lineages, Obtained Using Ribosomal Multilocus Sequence Typing and Raman Spectroscopy. Appl Environ Microbiol 2013; 79(3):965–973.
- Reinhold P1, Jaeger J, Liebler-Tenorio E, Berndt A, Bachmann R, Schubert E, Melzer F, Elschner M, Sachse K. Impact of latent infections with Chlamydia species in young cattle. Vet J 2008;175(2):202-211
- Rivera GH, Benito ZA, Ramos CO, Manchego SA. Prevalencia de enfermedades de impacto reproductivo en bovinos de la estación experimental del trópico. Rev Inv Vet Peru 2004. 15 (2):120-126.

- Rodrigues MC, Cooke RF, Marques RS, Cappellozza BI, Arispe SA, Keisler DH, Bohnert DW. Effects of vaccination against respiratory pathogens on feed intake, metabolic, and inflammatory responses in beef heifers. J Anim Sci. 2015;93(9):4443-52: 2015-9277.
- Salgado M, Otto B, Sandoval E, Reinhardt G, Boqvist S. A cross sectional observational study to estimate herd level risk factors for *Leptospira* spp. serovars in small holder dairy cattle farms in southern Chile. BMC Veterinary Research 2014; 10 (126): 1-6.
- Sánchez Rocha Liliana. Presencia de Chlamydia abortus en cabras de México. Tesis de Maestría en ciencias de la producción y salud animal Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, 2014.
- Sanhueza JM, Heuer C, Wilson PR, Benschop J, Collins EJM. Prevalence and risk factors for *Leptospira* exposure in New Zealand veterinarians. Epidemiol. Infect 2015; 143: 2116–2125.
- Santiago-Rodríguez MR, Díaz-Aparicio E, Arellano-Reynoso B, García-Lobo JM., Gimeno M, Palomares REG, and Hernández-Castro R. Survival of *Brucella abortus* aqpx Mutant in Fresh and Ripened Cheeses. Foodborne Pathogens and Disease 2015; 12 (2).
- Savón C, Goyenechea A, Valdivia A, Chacón D, Cancio R, Angel-Pérez L,
- Shearer KE, Harte MJ, Ojkic D, DeLay J, Campbell D. Detection of *Leptospira* spp. in wildlife reservoir hosts in Ontario through comparison of immunohistochemical and polymerase chain reaction genotyping methods. Can Vet J 2014; 55(3):240-248.
- Sprenger H, Zechner EL, Gorkiewicz G. 2012. So close and yet so far - molecular microbiology of *Campylobacter fetus* subspecies. Europ J Microbial Immunol 2(1): 66-75.
- Statham JM, Randall LV, Archer SC. Reduction in daily milk yield associated with subclinical bovine herpesvirus 1 infection. Vet Rec. 2015;177(13):339.
- Szeredi L, and Haake DA). Immunohistochemical Identification and Pathologic Findings in Natural Cases of Equine Abortion Caused by Leptospiral Infection. Vet path 2006; 43(5):755-761.
- Verma AK, Kumar A, Sahzad, Reddy NC, Shende AN. Computational prediction of MHC class I epitopes for most common viral diseases in cattle (*Bos taurus*). 2015;52(1):34-44.
- Waldner C, Hendrick S, Chaban B, A Garcia-Guerra, G Griffin, J Campbell, JE
- Hill. 2013. Application of a new diagnostic approach to a bovine genital campylobacteriosis outbreak in a Saskatchewan beef herd. Can Vet J. 54: 373-376.
- Wilson K, Sammin D, Harmeyer S, Nath M, Livingstone M, Longbottom D. Seroprevalence of chlamydial infection in cattle in Ireland. Vet J. 2012 Aug;193(2):583-585.
- Zowghi E, Ebadi A and Mohseni B. Isolation of *Brucella* organism from the milk of seronegative cows. Rev Sci Tech 1990; 9 (4): 1175-1178.
- Bell-Sakyi L, Palomar AM, Bradford EL, Shkap V. Propagation of the Israeli vaccine strain of *Anaplasma centrale* in tick cell lines. Vet Microbiol. 2015; 179(3-4):270-276
- Bock RE, de Vos AJ. Immunity following use of Australian tick fever vaccine: a review of the evidence. Aust Vet J 2001;79:832-839.
- Cabezas-Cruz A, de la Fuente J. *Anaplasma marginale* major surface protein 1a: a marker of strain diversity with implications for control of bovine anaplasmosis. Ticks Tick Borne Dis. 2015; 6(3):205-210.
- Carreño AD, Alleman AR, Barbet AF, Palmer GH, Noh SM, Johnson CM. In vivo endothelial cell infection by *Anaplasma marginale*. Vet Pathol 2007;44:116-118.
- Castañeda-Ortiz EJ, Ueti MW, Camacho-Nuez M, Mosqueda JJ, Mousel MR, Johnson WC, Palmer GH. Association of *Anaplasma marginale* strain superinfection with infection prevalence within tropical regions. PLoS One 2015; 10(3):e0120748.
- de la Fuente J, Ruiz-Fons F, Naranjo V, Torina A, Rodríguez O, Gortázar C. Evidence of *Anaplasma* infections in European roe deer (*Capreolus capreolus*) from southern Spain. Res Vet Sci 2008;84:382-386.
- Ducken DR, Brown WC, Alperin DC, Brayton KA, Reif KE, Turse JE, Palmer GH, Noh SM. Subdominant outer membrane antigens in *Anaplasma marginale*: Conservation, antigenicity, and protective capacity using recombinant protein. PLoS One. 2015; 10(6):e0129309.

Esteves E, Pohl PC, Klafke GM, Reck J, Fogaça AC, Martins JR, Daffre S. Low temperature affects cattle tick reproduction but does not lead to transovarial transmission of *Anaplasma marginale*. Vet Parasitol. 2015 Jul 29 [en prensa]. pii: S0304-4017(15)00339-8. doi: 10.1016/j.vetpar.2015.07.010.

Figuerola JV, Alvarez JA, Vega CA, Buening GM. Use of multiplex polymerase chain reaction-based assay to conduct epidemiological studies on bovine hemoparasites in Mexico. Rev Elev Med Vet Pays Trop, 1993;46:71-75.

Figuerola MJV, Cantó AGJ, Ramos AJA, Rojas REE, Santiago VC, Granjeno CG, García OMA, Parrodi F. Evaluación en condiciones de campo de la vacuna inactivada de *Anaplasma marginale* denominada Plazvax. Vet. Méx. 1999;30, 221-225.

Jiménez Ocampo R, Rodríguez Camarillo SD, Rosario Cruz R, Orozco Vega LE, de la Fuente J. *Anaplasma marginale*: Análisis de las secuencias del fragmento variable del gen Msp1a y del gen Msp4 de cuatro nuevos aislados mexicanos. Téc Pecu Méx 2008; 46:69-78.

Jiménez Ocampo R, Vega y Murguía CA, Oviedo Ortega N, Rojas Ramírez EE, García Ortiz MA, Preciado de la Torre JF, Rosario Cruz R, Domínguez García, D, Rodríguez SD. Diversidad genética de la región variable de los genes msp1a y msp4 en cepas de *Anaplasma marginale* de México. Rev Mex Cienc Pecu. 2012; 3(3):373-387.

Jongejan F, Uilenberg G. The global importance of ticks. Parasitology 2004;129 Suppl, S3-14.

Pohl AE, Cabezas-Cruz A, Ribeiro MF, Silveira JA, Silaghi C, Pfister K, Passos LM. Detection of genetic diversity of *Anaplasma marginale* isolates in Minas Gerais, Brazil. Rev Bras Parasitol Vet. 2013; 22(1):129-135.

Rodríguez-Camarillo SD, García-Ortiz MA, Cantó-Alarcón GJ, Hernández SG, Santos CN, Abortes TR. Ensayo de un inmunógeno experimental inactivado contra *Anaplasma marginale*. Téc Pecu. Méx. 1999;37:1-12.

Rodríguez CSD, García OMA, Rojas REE, Cantó AGJ, Preciado de la TJF, Rosario CR, Ramos AJA, Aboytes TR. *Anaplasma marginale* Yucatan (Mexico) Strain. Assessment of low virulence and potential use as a live vaccine. Ann N Y Acad Sci 2008;1149:98-102.

# CAPÍTULO VII

230 )

CAPÍTULO VII

## ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DE LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL

José Antonio Espinosa García

Sergio Fernando Góngora González

Anton García Martínez

Fernando Cervantes Escoto

Georgel Moctezuma López

Ma. Enriqueta Mancilla Rendón

Jaime Rangel Quintos

Venancio Cuevas Reyes

José Luis Dávalos Flores

Abraham Villegas de Gante

Lourdes Velázquez Fragosó

### VII.1 INTRODUCCIÓN

El área de socioeconomía forma parte de las ciencias sociales, para el caso de la ganadería tropical, el objeto de investigación son los individuos, los sistemas de producción, los procesos productivos y la sociedad en su conjunto, los productos que se generan son conocimientos, modelos, procesos e información de indicadores económicos y sociales para la toma de decisiones. Esta disciplina está conformada por dos ciencias, la economía y la sociología, por ello los investigadores que realizan investigación son principalmente economistas, sociólogos, antropólogos, especialistas en desarrollo rural, o una combinación de estas profesiones, aunque también se encuentran estudios de veterinarios y zootecnistas.

La investigación socioeconómica enfocada a la ganadería tropical en comparación con otras áreas de la zootecnia, es relativamente menor en número de investigadores y por tanto en conocimientos generados; sin embargo la ganadería tropical enfrenta grandes problemas relacionados con el factor humano de los sistemas de producción, y su interacción con

el contexto externo, por ello el reto del área de socioeconomía es enorme.

De acuerdo a tres talleres participativos realizados a finales del 2014 por la Red de Ganadería Tropical para detectar su problemática, se concluyó que esta actividad enfrenta una limitada competitividad, por ello, la investigación socioeconómica relacionada con esta actividad, involucra estudios a conocer la problemática y potencial de: a) el productor primario y sus sistemas de producción, b) la agroindustria y la cadena de valor c) los problemas relacionados con aspectos de política pública.

A nivel productor, los problemas están referidos a la falta de diagnósticos “confiables” de características y recursos involucrados en las unidades de producción, considerando las diferentes regiones agroecológicas del país. Baja productividad y rentabilidad de la actividad ganadera; además no se encuentran documentados los impactos sociales, económicos y ambientales de los procesos de innovación y adopción de tecnología en la ganadería bovina tropical. Todo ello por falta de información, vinculación, método y cultura de evaluación.

En el ámbito de la cadena agroalimentaria, existe falta de conocimiento del comportamiento del agronegocio actual con enfoque de cadena de valor, tampoco se cuenta con información sobre pronósticos o estudios prospectivos que contribuyan al diseño de políticas de mediano y largo plazo; además se observa un inadecuado manejo de los recursos naturales, de los sistemas asociados a otras actividades económicas, así como desconocimiento del impacto ambiental y de la sustentabilidad de la actividad bovina del trópico.

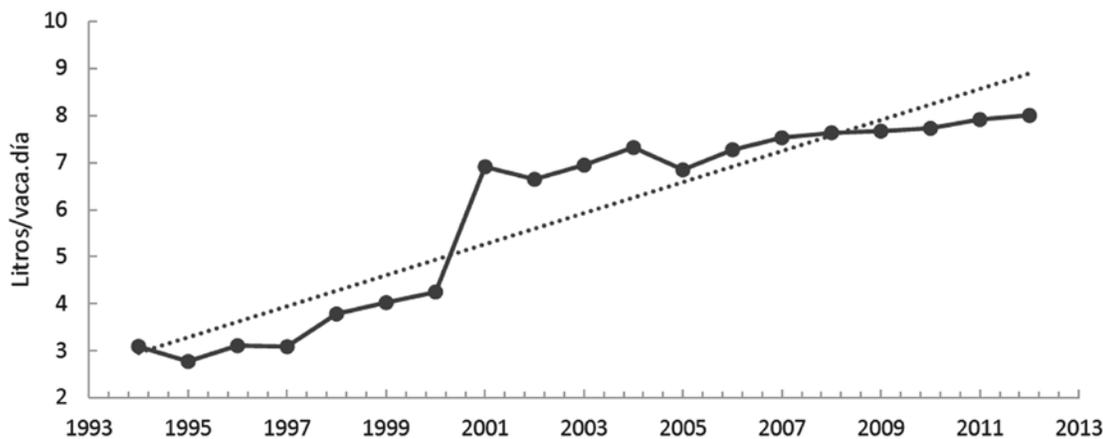
A nivel estructural existe desconocimiento y falta de evaluación de políticas relacionadas con aspectos de transferencia, adopción de tecnologías e innovación en la ganadería tropical y de aspectos relacionados con la legislación y programas de apoyo a la ganadería. Por lo que un factor crítico es la generación de políticas diferenciadas por tipos de productores, y la generación e integración de información dinámica actualizada y confiable del desempeño de los eslabones de la ganadería bovina tropical del país.

En base a lo anterior se conformó un equipo integrado por investigadores del área de socioeconomía para realizar una revisión de literatura de artículos, libros, capítulos de libros, memorias de congresos especializados, para identificar estudios que aborden temas sociales y económicos, que se identifiquen los métodos utilizados y los resultados derivados de proyectos de investigación en temas sociales y económicos para la ganadería tropical, principalmente en México, incluyendo también los estudios sobre el marco conceptual y uso de información estadística que soporta la investigación realizada en temas de socioeconomía. A continuación se presentan los principales resultados obtenidos.

## VII.2 MARCO CONCEPTUAL DE LA GANADERÍA BOVINA TROPICAL EN MÉXICO

La ganadería bovina tropical en México se caracteriza por contar con sistemas de producción con menos intensificación tecnológica, asociado a las condiciones agroclimáticas de las regiones tropicales, predominando la utilización de ganado criollo y sus cruzas con ganado especializado en la producción de leche, y cuya fuente de alimentación es principalmente el pastoreo. Por las características planteadas de este sistema de producción, la FAO lo clasifica como de pastoreo (en México se conoce como de Doble Propósito), dado que una parte importante de la materia seca con que se alimenta a los animales se produce en la unidad de producción, y en que las tasas anuales medias de densidad del ganado no superan las diez cabezas por hectárea de tierra agrícola.

En lo que concierne al sistema doble propósito de las zonas tropicales del país, se observa en la Figura 1, que posee valores bajos de productividad, expresados como litros de leche producidos por cabeza por día, aunque se observa una tendencia positiva, derivado a la incorporación de manera importante del mejoramiento genético de sus hatos mediante la cruce de las razas cebuinas con ganado europeo de alto rendimiento lechero (principalmente Suizo y Holsteín). Aunado a lo anterior, se ha incorporado el manejo de praderas, introduciendo pastos con mayor calidad nutricional y el uso de árboles forrajeros.



Fuente: Elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Figura 1. Comportamiento de la productividad en el Sistema doble propósito

Además de lo expuesto, la actividad bovina en el trópico responde a una producción ganadera de pequeña escala, aunque las unidades de producción son clave para seguridad alimentaria de los habitantes del trópico; ya sea en términos de provisión y acceso a los alimentos, estabilidad y precios. En términos globales los pequeños productores generan entre el 19 y 12 % de la producción mundial de carne y leche respectivamente, y fijan gran parte de la mano de obra que se ocupa en la actividad agropecuaria del trópico.

El sistema de producción predominante en el trópico mexicano es el de doble propósito (DP). El cual ha sido descrito, como una variación del sistema mixto agricultura-ganadería, con una parte de pastoreo en praderas nativas y residuos de cultivos en tierras de uso comunal, en el contexto de una producción ganadera multifuncional.

Las explotaciones DP muestran elevada capacidad de resiliencia y versatilidad, alto nivel de diversificación y complementariedad con las restantes actividades; estos atributos le permiten al sistema soportar cambios climáticos y económicos como consecuencia de su bajo nivel de inversión. El DP genera ingresos directos y además promueve la sustentabilidad ambiental, a través del uso de los recursos disponibles. El ganado es un activo que favorece la reducción de la vulnerabilidad de la explotación y la pobreza, a través de una estrategia de mínimo costo, aunque con bajos niveles de eficiencia y de innovación tecnológica.

Frecuentemente las políticas de mejora de estos sistemas, se orientan a mayor intensificación como estrategia para incrementar la productividad y mejorar el nivel de vida de los productores. Sin embargo, mayor intensificación no conlleva mayor eficiencia económica ni mejores resultados económicos. A pesar de ello, se considera que la adecuada adopción tecnológica favorece la mejora de los resultados de las explotaciones. Las políticas de desarrollo del sector han pretendido incorporar tecnologías de forma directa y lineal sin considerar factores que afectan al sistema de DP y que limitan su adopción y por tanto sus impactos. En este sentido la adopción tecnológica debe ser vista como un proceso que requiere que el ganadero sea un líder que formule y ejecute estrategias con un enfoque tecnológico integral y sistémico de los procesos involucrados en la actividad.

## VII.3 INVESTIGACIÓN SOCIOECONÓMICA RELACIONADA CON EL PRODUCTOR Y SUS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

La investigación socioeconómica se ha enfocado principalmente a estudios de caracterización del productor y su unidad de producción, por ello están asociados al avance de la tecnología de la información; esta caracterización ha transitado de estudios descriptivos donde se aplicaban estadísticas básicas, hacia el uso de modelos econométricos y estudios multivariados que demandan mayor cantidad de información y manejo de equipo y software para su análisis.

### VII.3.1 MARCOS DE REFERENCIA Y DIAGNÓSTICOS

En el ámbito agropecuario, los sistemas de producción de bovinos, han sido ampliamente estudiados a través de diagnósticos y marcos de referencia; en la literatura se pueden encontrar gran diversidad de investigaciones con diferentes enfoques, realizados por la academia, las organizaciones gubernamentales, los centros de investigación, etc. Los resultados de los diagnósticos se han enfocado a conocer la problemática del fenómeno, y crear e implementar estrategias de mejora.

En el caso de la ganadería bovina en México, su comportamiento ha sido abordado desde diferentes escenarios, destacando aquéllos que se refieren a la situación al interior de los diferentes sistemas de producción, tanto de carne como de leche. Destacan los estudios de diagnósticos y marcos de referencia que han tratado de explicar el estado en que se encuentra la ganadería en el país desde el punto de vista técnico y socioeconómico. Sin embargo, es importante destacar a que a nivel productor, de acuerdo a la percepción de especialistas en ganadería tropical, los diagnósticos realizados a la fecha indican poca confiabilidad en cuanto a las características y recursos involucrados en las unidades de producción, considerando las diferentes regiones agroecológicas del país.

A través de diagnósticos estáticos también se han hecho estudios para estimar la rentabilidad de los ranchos ganaderos; sin embargo, la limitante importante en ello, es la escasa cultura del registro por parte de los productores. Pocos son los que llevan registros técnicos y menos aun los que toman datos económicos. Lo anterior, ha generado indicadores de rentabilidad en los ranchos de poca

confiabilidad. Se requiere un gran esfuerzo para generar información producto del seguimiento técnico y económico de los sistemas de producción.

De la revisión documental de los diagnósticos y marcos de referencia realizados en México y el aporte de los mismos a la identificación de factores técnicos y socioeconómicos que limitan el desarrollo de la ganadería bovina tropical en el país, se encontró una gran diversidad de estudios, publicados en memorias de congresos, así como tesis y diagnósticos realizados por instituciones oficiales, pero pocos artículos científicos.

### VII.3.2 MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE DIAGNÓSTICOS

En la revisión de artículos y otros reportes de investigación, la metodología con que se han llevado a cabo las investigaciones, destaca por mucho la encuesta, aplicación de entrevistas a informantes clave, mismos que se han dirigido a realizar diagnósticos estáticos. Otras metodologías utilizadas son los análisis de bases de datos de series de tiempo o bien de información capturada mediante registros principalmente técnicos, basados en variables que sirven para el análisis de la información, a través de la estimación de modelos econométricos o análisis de varianza (ANOVA), la suma de cuadrados y cálculos en Microsoft Excel; las muestras utilizadas pueden ser por superficie de rancho o cabezas de ganado. De los artículos revisados el 75 % utiliza el registro de datos o de prácticas como método de muestreo.

### VII.3.3 PRINCIPALES RESULTADOS ENCONTRADOS

En México la ganadería ocupa más del 50 % del territorio nacional y mantiene cerca de 32 millones de cabezas de ganado bovino. La producción de leche y carne, es de más de 10,800 millones de litros y de 1.8 millones de toneladas, respectivamente.

A través de los diagnósticos y marcos de referencia, realizados en la ganadería bovina a partir de la década de los 80s, se han logrado conocer las formas de producción en las diferentes regiones agroecológicas del país y las diferentes condiciones socioeconómicas de los productores. Con base en ello se han llegado a definir sistemas de producción para carne, leche y doble propósito. La definición de esos sistemas, ha variado dependiendo de los objetivos que se han planteado las instituciones que los realizan.

Para producción de carne se destacan tres tipos de sistemas, según un estudio realizado por Financiera Rural:

**Extensivo:** Se requieren grandes extensiones de pastizales, sin embargo las ganancias de peso y calidad de la carne resultan inferiores a los obtenidos en otros sistemas. Los animales permanecen un tiempo más prolongado para ser ofrecidos al mercado, pero el costo de producción es inferior, puesto que no se requiere de mucha mano de obra, concentrados y costosas instalaciones.

**Semi-intensivos:** Tienen como base el pastoreo, donde se combina el engorde extensivo y el engorde intensivo, y tiene dos modalidades:

1. *Suplementación:* se le proporciona diariamente determinada cantidad de alimentos en comederos fijos en los mismos pastizales.
2. Encierro: los animales pastan medio día, y el otro medio día y toda la noche son encerrados en corrales, en donde se les alimenta con mezclas alimenticias.

**Intensivo:** Mantiene al ganado en confinamiento por un periodo de 90 días, con una alimentación a base de raciones balanceadas especialmente preparadas. Para este sistema se requiere sólo de una reducida superficie de terreno para engordar un gran número de animales en periodos de tiempo cortos; en este sistema los animales obtienen más peso debido a la tranquilidad, al menor ejercicio, y por lo tanto al menor desgaste de energía.

Con base al objetivo de producción, la ganadería para carne comprende principalmente la producción de novillos para abasto, la cría de becerros para la exportación y la producción de pie de cría, siendo los sistemas básicos de explotación, el intensivo o engorda en corral y el extensivo o engorda en praderas y agostaderos en las diferentes regiones del país.

Para el caso de la producción de leche, los sistemas se clasifican en:

- Especializado: tiene ganado y tecnología especializada para la producción de leche, principalmente ganado Holstein y en menor medida Pardo Suizo y Jersey. Este tipo de sistema lo utilizan principalmente las pasteurizadoras y transformadoras.
- Semi-especializado: cuenta con un nivel medio de tecnología, predominan las razas Holstein y Pardo Suizo, pero no se llegan a los niveles de producción del sistema especializado.

- \* Doble propósito: El ganado se destina a producción de leche y carne, predominan las razas cebuinas y sus cruza, la alimentación se basa en el pastoreo, en el trópico mexicano.
- \* Familiar o de traspatio: Se desarrolla en extensiones pequeñas de terreno y puede darse cerca de las viviendas (traspatio).

La SAGARPA reporta que el 50.6 % de la producción total de leche se genera en sistemas especializados, el 21.3 % en sistemas semi-especializados, el 18.3 % por el ganado de doble propósito y el sistema familiar produce el 9.8 %.

La clasificación de los sistemas de producción referidos, han descrito las características técnicas de su funcionamiento y contribuido al conocimiento al interior de los mismos, permitiendo detectar niveles de producción y productividad de cada uno de ellos, y definir líneas de investigación en el área de alimentación, reproducción, sanidad, genética y manejo general del sistema, mismas que se pueden encontrar en múltiples reportes de resultados de investigación.

Sin embargo, a pesar de que se ha estado investigando en las disciplinas referidas, se ha detectado que el estudio aislado de esos sistemas a nivel de producción primaria, no garantiza el crecimiento y desarrollo de la actividad. Se concibe la necesidad de realizar estudios integrales que involucren a variables del contexto como es la comercialización, el mercado, financiamiento y políticas de apoyo a la actividad.

Se cambia el paradigma y se realizan estudios que visualicen la actividad como cadena agroalimentaria, identificando y diagnosticando sus eslabones y las interacciones existentes entre ellos. Se parte de la necesidad de lograr una integración, desde el proveedor de insumos hasta el consumidor, y detectar los flujos de productos y capital, estableciendo debilidades susceptibles de convertir en fortalezas, mediante la investigación y el diseño de políticas públicas acorde a la problemática detectada. En esta etapa juega un papel importante las Fundaciones Produce, que financian a través de proyectos de investigación, el desarrollo de las cadenas a nivel nacional. Se identifican problemas a nivel de producción primaria, derivados de bajos índices de productividad, concentrados sobre todo en pequeños y medianos productores, escaso valor agregado; en muchos casos canales de comercialización innecesarios que fomentan el intermediarismo y la desigual distribución de los márgenes de comercialización, con inequidad para el eslabón de producción. Una de las debilidades de

estos estudios es que la mayoría se han quedado a nivel descriptivo, ya que los flujos de la cadena se han estimado con la poca y escasa confiabilidad de las estadísticas disponibles

## VII.4 INVESTIGACIÓN SOCIOECONÓMICA RELACIONADA CON LA AGROINDUSTRIA Y LA CADENA DE VALOR

La investigación del área de socioeconomía con un enfoque de agronegocio y cadena de valor realizada en México, es menor que la realizada a nivel de productor primario. Actualmente existe un equipo de investigación del CIESTAAM de la Universidad Autónoma Chapingo, que se ha enfocado a estudiar la producción de quesos artesanales en México. En el Colegio de Postgraduados se han realizado estudios de mercado, aplicando modelos econométricos para conocer la respuesta de cambios en precios e ingresos de los consumidores en la oferta y demanda de leche, y se ubicaron estudios con enfoque de cadena agroalimentaria, cuyos resultados son aplicables a un Estado, sin tener un enfoque nacional o por lo menos regional. En este tema también se ubicaron metodologías que evalúan la sustentabilidad de la cadena de valor de leche.

También se encontró que la agroindustria que mayormente se ha estudiado es la relacionada a la transformación de leche, por ello se presentan los resultados encontrados; también se encontró amplia literatura sobre estudios prospectivos relacionados con la ganadería tropical, y en menor proporción los estudios de sustentabilidad.

## VII.5 ESTUDIOS SOCIOECONÓMICOS SOBRE LA AGROINDUSTRIA LECHERA

De acuerdo a la investigación realizada, se encontró que la industria quesera artesanal se puede clasificar convencionalmente en tres estratos (según el volumen de leche que procese diariamente): pequeña, transforma volúmenes menores a 2,000 L; mediana, procesa entre 2,000 y 20,000 L; gran industria, la que maneja volúmenes superiores a 20,000 L. Otras características identificadas en la literatura sobre la agroindustria lechera son las siguientes.

La mayor parte de la producción quesera no se registra. Tan sólo en el estado de Chiapas existen alrededor de 600 queserías, pero sólo 109 están censadas por el INEGI. Además, hay otro tipo de unidades productoras que no registran los censos

económicos, y son ignoradas en muchos estudios. Se trata de la producción quesera que se realiza directamente por los ganaderos. Sólo en la Sierra de Jalmich existen alrededor de 200 queseros de ese tipo.

Se reporta también la existencia de una producción similar en una región de Zacatecas. En Ocosingo, Chiapas muchos de los queseros producen la totalidad o parte de la leche que requieren. También se han localizado ganaderos-queseros en cuencas de producción de lechería familiar o semi-tecnificada, desde las colonias menonitas en Chihuahua hasta Villaflores, Chiapas; pasando por Lagos de Moreno, Jalisco; Aculco, Estado de México; Tlaxco y Tetlatlahuca, Tlaxcala.

Se puede inferir lo difícil que resulta cuantificar con precisión el impacto económico de la producción artesanal de queso en México. Sin embargo se puede afirmar que es relevante, y también socialmente, por el número de actores involucrados en la cadena agroalimentaria, igualmente por ofrecer la mayor variedad de quesos en el país.

### VII.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA AGROINDUSTRIA QUESERA EN EL TRÓPICO MEXICANO

La gran mayoría de las queserías presentes en zonas tropicales tienen en común ser empresas artesanales de tipo familiar. A pesar de la gran disparidad entre unidades que procesan 100 L cada día y otras que alcanzan 100,000 L, se caracterizan por procesar fundamentalmente leche cruda, y el empleo de una tecnología “básica” (equipos y procesos), con un saber-hacer empírico, mezclando tradición e intuición, e infraestructuras “improvisadas”. Por falta de conciencia, pero también de medios, no presentan mucha exigencia en términos de calidad a sus proveedores de leche. Sus productos son comercializados principalmente en tianguis, y tiendas de abarrotes o cremerías.

Algunos queseros de la Costa de Chiapas han tratado de instalar bodegas en el Distrito Federal pero no han logrado mantenerse en ese mercado. Eso muestra la dificultad para pasar de un mercado regional a uno nacional por las diferencias en la demanda (calidad, precio). Pero también que los intermediarios, a menudo denunciados como eslabón inútil e ilegítimo, pueden ser necesarios para vincular oferta y demanda. A pesar de todo, algunos queseros han logrado incursionar en mercados más valorizados, ya que han logrado vender su producto en supermercados (a nivel

regional). En el trópico se elabora una gran mayoría de quesos frescos (tipo Oaxaca, panela, tipo cotija, queso doble crema, etc.), aunque también existe una gran tradición de quesos madurados, especialmente en zonas de transición climática, y que desarrollan pequeños queseros, como son: queso poro de Tabasco, queso cotija y bola de Ocosingo, etc.

### VII.5.2 TENDENCIAS DE LA AGROINDUSTRIA LECHERA ARTESANAL

Particularmente en la última década, el modelo Holstein ha tenido un avance significativo, y las regiones tradicionalmente consideradas como de especialización lechera han expandido ampliamente sus fronteras. En ese sentido, zonas como La Laguna han mantenido un alto estatus, al mismo tiempo entidades como Chihuahua y Durango se han consolidado como regiones de gran aporte. Una situación similar ocurre en el centro del país, en donde se conforma una macroregión especializada en producción de leche que fusiona prácticamente el Altiplano Central de México, desde Zacatecas hasta Tlaxcala.

Por otro lado, las regiones tropicales como Veracruz y Chiapas, han orientado más su estructura agropecuaria hacia la producción de leche, que hacia la carne, lo que va aparejado con el avance del modelo Holstein, pues, dentro de la producción en sistemas de doble propósito, se han instaurado cambios tecnológicos dirigidos al aumento de la producción lechera (v.g. cruza de razas cebuinas con lecheras especializadas, procesos de semi-estabulación, uso de inseminación artificial, ordeña mecánica y enfriamiento de la leche in situ). Se presupone por lo tanto, un fuerte avance de dicho modelo en toda la lechería del país, y por supuesto también en el trópico, una especie de “revolución blanca,” por lo menos en la última década.

A pesar del aumento en la producción, la quesería se ve afectada por la gran estacionalidad en la generación del lactacinio que aún persiste, lo cual provoca junto con una infraestructura de comunicación deficiente (carreteras y de medios como celular, fax, computadoras, red, y otros), falta de abasto en la materia prima, fundamentalmente en la época de estiaje. Esto tiene efectos negativos a lo largo de la cadena productiva.

Un insuficiente abasto de leche, como ocurre en La Costa de Chiapas, provoca que algunos queseros recurran a proveedores y asesores técnicos que promueven el empleo de sustitutos de la leche natural (v.g. leche descremada en polvo, proteínas

lácteas, y grasa vegetal); esto reporta ventajas a los transformadores, al sostener la oferta de quesos y abatir los costos de producción; sin embargo, por estas medidas tecnológicas los quesos artesanales se “desnaturalizan”, pierden su identidad y tipicidad, y entran a competir en el mercado con una lógica industrial, en detrimento de su preservación.

Así, la escasez estacional del lactcinio (explicada por diversos factores) junto con el envejecimiento de los propios queseros, la ausencia de relevo generacional en las unidades de producción, y la competencia desleal con los quesos de imitación de menor precio (y que se ostentan como queso auténtico), son factores que están contribuyendo a la desaparición de las queserías, y con ello a la extinción de algunos de los quesos mexicanos genuinos. Se puede concluir que para la quesería, el problema más grande es la escasez estacional de leche, que está orillando al uso de sustitutos de la leche fluida.

## VII.6 ESTUDIOS DE PROSPECCIÓN SOBRELASCADENASAGROALIMENTARIAS DE BOVINOS

Se han realizado estudios prospectivos con enfoque de cadenas agroalimentarias para identificar el potencial futuro de la ganadería bovina tropical. Una herramienta que se ha tomado como punta de lanza para realizar análisis prospectivo en el tema de la tecnología y el agronegocio sobre la ganadería tropical es el método Delphi. Esta técnica funciona como método de estructuración de un proceso de comunicación grupal, efectivo cuando un grupo de individuos analiza un tema complejo.

En la formulación teórica del método Delphi se aplican una serie de etapas para garantizar la calidad de su resultado: formulación del problema, elección de expertos, elaboración y lanzamiento del cuestionario, desarrollo práctico y elaboración de resultados.

La revisión de la literatura relacionada sobre prospección de ganadería tropical en México, por medio del método Delphi, sirve para destacar los modelos más útiles que permitan elaborar una visión actualizada sobre el tema y sus características, tanto positivas como negativas; sirven de lecciones para focalizar las áreas de oportunidad en una nueva prospección.

Se presenta el estado del arte sobre publicaciones de prospección bajo el enfoque, preferentemente, del método Delphi, tomado como principal estrategia, ya que se manifiesta convergencia de

opiniones y se deducen consensos y disensos mediante la consulta directa de expertos. La generación de escenarios y cuestionarios forma parte imprescindible para prever las variaciones más importantes que se producen en la prospección de la ganadería bovina tropical en carne y leche.

Para facilitar el manejo de los datos, los materiales bibliográficos que se encontraron se concentraron en una base de datos en Excel, de la cual se desprenden los siguientes comentarios:

1. El total de materiales que se encontraron sobre estudios prospectivos con énfasis en el método Delphi fue de 69 diversos documentos.
2. La búsqueda más antigua se reportó en el año 1990 y la más reciente fue en 2015, con la mayor frecuencia de reportes en 2012, y hubo seis citas que carecieron de año de publicación. La frecuencia, medida en términos porcentuales se presenta en la Figura 2.

La mayor abundancia de información se observó durante el periodo de cuatro años, del 2010 al 2015. De acuerdo a la información encontrada, en esta búsqueda del estado del arte de la ganadería bovina tropical, se obtiene como resultado que México destaca por sus aportes científicos y técnicos. Para el caso de los documentos internacionales, España muestra un gran desempeño en cuanto a estudios de ganadería bovina en carne.

El mayor número de temas motivo de estudio, lo representaron los estudios prospectivos de la leche con 20 documentos, que representaron el 29 %, siguió en orden de importancia el de la carne (10 estudios), que significaron el 14.5 % y los temas que abordaron tanto a la leche como a la carne de manera combinada representaron el 2.9 % del total. Al combinar estos tres temas, su participación porcentual llegó hasta el 46.4 % (poco menos de la mitad). Los temas de carácter general que representaron un alto porcentaje, 39.1, se consideraron de interés para una mejor comprensión del método prospectivo Delphi y sus aplicaciones a la ganadería tropical.

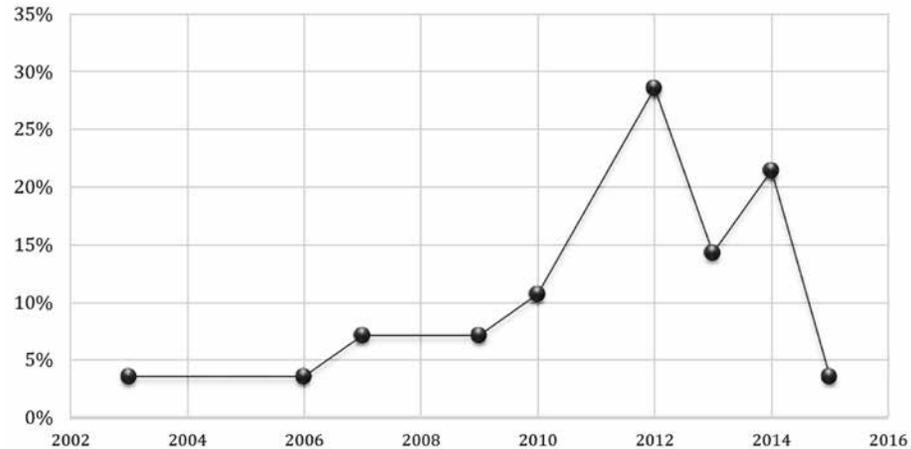


Figura 2. Distribución de los estudios prospectivos en ganadería bovina

En cuanto al tipo de material, la mayor cantidad que se encontró fue la correspondiente a artículos científicos, con 18 documentos, siguió en orden de importancia los materiales presentados como extensos en congresos nacionales e internacionales con 14 escritos, el tercer lugar lo ocuparon los libros que fueron 8 materiales, en cuarto lugar quedaron en igualdad de circunstancias los resúmenes en congresos nacionales e internacionales y los cuadernillos, ambos con 5 documentos, siguió en orden de importancia las tesis con 4 ejemplares (3 de doctorado y 1 correspondió a licenciatura), se encontraron 3 capítulos de libro, 1 ensayo y 11 documentos varios, entre los cuales se pueden mencionar a las presentaciones en el programa Power Point que se utilizaron en distintos eventos de difusión.

Los materiales que más se encontraron fueron los artículos científicos, los documentos en extenso que se presentaron en congresos nacionales e internacionales y los libros que entre los tres representaron más de la mitad (58 %) de los materiales.

La búsqueda bibliográfica por país arrojó que México fue el país en el que más materiales se encontraron con 40 documentos, en segundo lugar fue España en donde se encontraron 10 citas bibliográficas, siguió en orden de importancia Colombia con 7 documentos y posteriormente, con 2, Cuba, Venezuela y Francia; finalmente con 1 documento los países de Chile, Argentina, Costa Rica, Perú, Italia y Alemania. En la Figura 2 se puede observar la composición porcentual del material bibliográfico relativo a estudios prospectivos con énfasis en análisis *Delphi*.

Entre los tres países; México, España y Colombia en los se detectó el mayor volumen, se alcanzó el 83 % de la información, de los cuales sobresalió México con más de la mitad (58 %).

Con relación al sitio de donde proviene el material bibliográfico, se encontró que la mayor información se obtuvo de Centros de Investigación nacionales con 39 documentos, en segundo término fueron las Universidades extranjeras las que aportaron 9, siguieron en orden de importancia los que desarrollaron los Centros de Investigación internacionales con 7, posteriormente fueron las Empresas privadas extranjeras con una aportación de 5, después con igual número, fueron las Universidades Nacionales y Organismos Internacionales, ambas con 3; y finalmente se identificó a 1 Dependencia Gubernamental extranjera y 2 documentos que no pudieron ser clasificados bajo este rubro.

Las instituciones que más aportaron a la revisión del estudio del arte fueron los Centros de Investigación Nacionales, ya que su aportación fue del 57 %; dentro de estos el INIFAP presentó una aportación significativa, al sumar a las Universidades extranjeras y a los Centros de Investigación Internacionales, la proporción alcanzó el 80 %.

## Resultados de estudios prospectivos

A manera de comentarios finales, se puede mencionar que el número de citas (69) que el equipo de investigación encontró, se considera adecuado. Dentro de los temas que se estudiaron, los de la leche fueron los que más aportaron, ya que fueron 20, lo que representó una participación del 29 % del total. El año de publicación de los documentos más recurrente fue el de 2012, mismo que se puede considerar reciente. Los artículos científicos fueron los documentos que más se encontraron dentro de la literatura. El país con mayor aportación de documentos fue México, y las instituciones con más publicaciones fueron los Centros de Investigación a nivel nacional y dentro de estos, el INIFAP tuvo una participación significativa. Se incluyeron algunos materiales de carácter general que tratan el método Delphi por considerar de alta relevancia las aportaciones que en ellos se hacen, y que ilustran el marco conceptual y teórico de la prospección.

## VII.7 EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD

De acuerdo con datos de la FAO, la producción de leche en sistemas de pastoreo contamina el ambiente mediante la emisión de gases de efecto invernadero, relacionadas con la nutrición, estiércol y cría de los animales, por ello se tienen que considerar los procesos de nutrición, de manejo del excretas, de reproducción, de genética y de crianza de reemplazo, como los más importantes en una evaluación de la sustentabilidad, para poder ubicar cuáles son las tecnologías disponibles para producción de leche en pastoreo tendientes a disminuir las emisiones de metano entérico, acortar los tiempos de crianza de reemplazos y mejorar la productividad de las vacas.

La investigación documental realizada indica que para poder evaluar la sustentabilidad de un sistema de producción es necesario además de conocer los procesos productivos y sus efectos en el medio ambiente, conocer el marco teórico de la sustentabilidad, partiendo de definir qué es un sistema de producción de leche sustentable.

La Comisión de la ONU para el medioambiente y el desarrollo (WCED), más conocida como la Comisión Brundtland, propuso la definición más extendida de “desarrollo sostenible”, como aquél que permite cubrir las necesidades de la generación actual, sin comprometer las posibilidades de las futuras generaciones para cubrir sus propias necesidades. Así, a partir de la década de los 90 del siglo XX, el desarrollo sostenible se ha convertido en el

paradigma dominante que ha guiado los procesos de desarrollo, a la vez que se ha constituido como principio rector en el diseño e implementación de las políticas públicas.

Partiendo de este concepto, se puede decir que un sistema de producción de bovinos en pastoreo es sustentable si cumple con los siguientes requisitos: a) promueve la suficiencia alimentaria; b) conserva los recursos naturales y protege el medio ambiente; c) es viable económicamente; d) es socialmente y culturalmente aceptable, por ello la evaluación de la sustentabilidad se enfoca a considerar tres dimensiones básicas que se explican a continuación.

**Sustentabilidad ambiental**, que requiere que la producción de bovinos en pastoreo sea compatible con el mantenimiento de los procesos biológicos en que se fundamentan los ecosistemas naturales. Esto se puede traducir como la capacidad para garantizar la continuidad de la productividad de las vacas gracias al uso de prácticas que permitan un uso adecuado de los recursos naturales, y la prevención de daños a los ecosistemas locales y colindantes.

**Sustentabilidad económica**, que requiere que la producción de bovinos en pastoreo sea económicamente viable. A nivel microeconómico esto implica una rentabilidad de la actividad aceptable para los productores privados, y a nivel macroeconómico una contribución positiva del conjunto del sector a la renta regional/nacional.

**Sustentabilidad socio-cultural**, que exige que el desempeño de la producción de bovinos en pastoreo sea social y culturalmente aceptable. Esta condición se traduce como la garantía de la suficiencia alimentaria, la equidad en el reparto de la renta generada, y la contribución a la viabilidad de las comunidades rurales.

Además de las dimensiones mencionadas, la literatura menciona que es necesario considerar otros aspectos conceptuales relevantes para la evaluación, como si se aplicará el concepto de sustentabilidad débil o fuerte. La sustentabilidad débil considera a la naturaleza como una forma de capital, que puede ser sustituido por el capital hecho por el hombre; en cambio la sustentabilidad fuerte, considera al capital natural como proveedor de algunas funciones que no pueden ser sustituidas por capital hecho por el hombre, esta elección influirá en la selección de indicadores y por supuesto en los resultados obtenidos.

También debe definirse la escala temporal de evaluación, dado que la definición de sustentabilidad incorpora intrínsecamente esta dimensión. Aunque la idea de sustentabilidad no define un horizonte temporal, para su evaluación es práctico definir un período de tiempo acotado y visible. Se puede considerar que, si en la definición de sustentabilidad se habla de satisfacer las necesidades de las futuras generaciones, el horizonte temporal no debería ser menor a una generación, es decir, 25 años.

La FAO incluye una cuarta evaluación para medir la sustentabilidad de sistemas agropecuarios, que es la de buen gobierno, conceptualizado como el proceso de toma de decisiones y su implementación, sustentada en las fallas institucionales que se presentan en estos sistemas.

## **VII.8 INVESTIGACIÓN SOCIOECONÓMICA RELACIONADA CON LA POLÍTICA PÚBLICA**

Un aporte importante del área de socioeconomía al estudio de la política pública se ha enfocado a evaluar los impactos económicos y sociales de la tecnología, así como a conocer los niveles de adopción e innovación de dicha tecnología, y finalmente existen estudios sobre los aspectos fiscales de la ganadería bovina tropical. A continuación de exponen cada uno de estos tres grandes apartados.

### **VII.9 EVALUACIÓN DE IMPACTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE TECNOLOGÍAS Y CONOCIMIENTOS APLICADOS A LA GANADERÍA BOVINA**

Existen diferentes métodos para evaluar los impactos de los resultados de investigación y extensión agrícola sobre indicadores económicos, productivos, sociales y ecológicos. Los estudios de evaluación de impacto se pueden realizar a dos niveles:

- El primero se efectúa en la unidad de producción y con información obtenida del productor; se estima a través de los cambios ocurridos por la aplicación de tecnología en los costos de producción, la productividad, rentabilidad, sustentabilidad y competitividad de la empresa, y el ingreso del productor.
- El segundo nivel de evaluación mide los cambios que se producen en la sociedad en su conjunto por el uso de tecnología, a través de

las variaciones en el bienestar de los consumidores y los productores de un país.

Si bien existen numerosos estudios y métodos sobre evaluación del impacto de las inversiones en investigación y tecnologías agropecuarias, y dado que cada vez es mayor la demanda por generar indicadores de impacto e identificar los beneficios de las tecnologías y conocimientos generados, esto ha propiciado que las instituciones de investigación y las que financian la generación de tecnologías destinen recursos para desarrollar proyectos de evaluación de impactos, lo que ha permitido generar indicadores de rentabilidad de las inversiones de algunas tecnologías, principalmente vacunas, pero no se ubicaron estudios relacionados con la evaluación de las tecnologías aplicadas a ganadería tropical en México, por lo que esto se convierte en una necesidad y área de oportunidad para los investigadores del área de socioeconomía de las instituciones de enseñanza e investigación del país.

La evaluación de impacto puede informar a los encargados de formular las políticas y a los gestores de programa y de proyecto, si las mediciones están produciendo los resultados deseados, y pueden ofrecer pistas clave del porqué las estrategias de ejecución avanzan o no por la senda correcta. La evaluación ofrece evidencias de porqué los objetivos y los efectos se están logrando o no, es decir, busca resolver problemas de causalidad.

### **VII.10 IDENTIFICACIÓN Y ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS APLICADAS A LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE GANADERÍA BOVINA TROPICAL**

La innovación involucra un cambio, donde las tecnologías deben ser relevantes, pertinentes, viables, racionales y con visión de sustentabilidad; lo que implica el correcto flujo de información entre los distintos actores que conforman el complejo agroalimentario (científicos, asesores, canales, productores, consumidores, etc.). De acuerdo con FAO, los cambios no pueden ser encarados sólo con más intensificación, más tamaño y más tecnología. La innovación conlleva mejoras y frecuentemente no supone incorporar tecnologías de última generación, aunque sí es precisa la reorganización de procesos.

La innovación tecnológica propone mejorar procesos y productos a partir de un conocimiento holístico y dinámico del sistema. La mejora debe ser socialmente útil y económicamente viable; además

su producción, uso y disseminación deben ser posibles. Se menciona que la innovación incluye un conjunto de mecanismos que integran diferentes estadios de un proceso, que involucra desde la formación de recursos humanos, hasta la comercialización de productos tangibles, donde varios actores y estrategias son articulados. Se indica que la innovación emerge como una necesidad para desarrollar una ganadería basada en la interacción entre el “scientific y actionable knowledge” (conocimiento básico y aplicado).

Es necesario en una primera etapa cuantificar el nivel tecnológico existente en las explotaciones, independientemente de los resultados productivos, ya que las explotaciones muestran distintos objetivos y estrategias de producción (Cuadro 1).

Cuadro 1. Objetivos de las explotaciones de doble propósito		
Tipo de unidades de producción	Principales objetivos de desarrollo rural	Objetivo productivo
Comerciales (15%)	Aumentar la competitividad	Mejorar productividad
Pequeñas (35%)	Reducir la pobreza y la desigualdad (género, territorios, etc.)	Estabilidad de la producción Acceso a mercados internos
Subsistencia (50%)	Seguridad alimentaria (suministro de alimentos, salud, etc.)	Estabilidad del consumo familiar y acceso a otras fuentes de financiación
Fuente: FAO (2008, 2012), OCDE (2011), Oosting et al (2014) entre otros.		

El nivel de innovación depende de múltiples factores y en los sistemas de DP de pequeña escala, es básica la incidencia de la dimensión, las condiciones climáticas, cultura, etc. Algunos investigadores agrupan las fincas de acuerdo con el uso medio de la innovación tecnológica (baja, media y alta). Asimismo se indica que los productores más competitivos con mayor dimensión y nivel tecnológico, tienen mayor participación en las políticas públicas de apoyo al sector, en un sistema donde la mayor parte de los productores son de pequeña dimensión, y bajo nivel tecnológico.

La evaluación posterior de impacto, busca establecer si el paquete tecnológico aplicado mejora las estrategias de vida de los productores. La identificación de las tecnologías utilizadas en DP y su impacto ofrecerán una herramienta que podría proponer medidas correctoras de mejora. Se ha propuesto una metodología para la evaluación de la innovación de tecnologías, partiendo desde la identificación de tecnologías y selección de áreas tecnológicas utilizando la participación de expertos (Figura 1). La identificación de tecnologías y su agrupamiento en áreas adquiere relevancia estratégica en el posicionamiento competitivo de la finca.

## Principales resultados obtenidos

Los estudios sobre innovación en DP a menudo consideran enfoques especializados y aislados al sistema. La mayor parte de los estudios que visualizan el uso e impacto de tecnologías se han hecho a través de la caracterización del sistema asociado con aspectos socioeconómicos, parámetros productivos, recursos disponibles, entre otros. La caracterización a menudo se realiza mediante el uso de tipologías, utilizando métodos de análisis de componentes principales y clústeres; los resultados han podido clasificar a las granjas por factores como dimensión, capacidad económica, nivel empresarial, orientación productiva y disposición de recursos.

## VII.11 ASPECTOS FISCALES PARA LA GANADERÍA

Dentro de los aspectos socioeconómicos de la ganadería mexicana, la investigación en materia fiscal es muy limitada. En la actualidad este aspecto cobra relevancia por las repercusiones que puede representar al sector.

La tributación ganadera tiene su origen en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, de la cual emana un conjunto de ordenamientos jurídicos, entre los que sobresale la Ley del Impuesto Sobre la Renta (LISR) y la Resolución Miscelánea Fiscal. Las actividades de ganadería por mucho tiempo fueron consideradas en un régimen fiscal denominado “Bases Especiales de Tributación” (BETS), uno de los tratamientos especiales de tributación que tiene su origen e importancia para el país en la autosuficiencia alimentaria, es decir, que el país produzca lo que su población consume. A través del tiempo el régimen fiscal de bases especiales evolucionó al Régimen Simplificado. Éste surge en 1989, el cual fue opcional en la etapa inicial, convirtiéndose en obligatorio a partir de 1991 para los contribuyentes del sector primario (agricultura, ganadería, pesca y silvicultura) y por muchos años benefició a las actividades ganaderas. Hasta antes de la reforma de 2014 las actividades primarias estaban exentas, y el Régimen Simplificado dejó de ser un régimen fiscal operable para el sector primario, y pasó a formar parte del Régimen General de Ley para tributar en materia del Impuesto Sobre la Renta.

### VII.11.1 PRINCIPIOS PARA ESTABLECER UN IMPUESTO

El principio constitucional establece la obligación de los mexicanos de “contribuir para los gastos públicos, así de la Federación, como el Estado o Municipio en que residan, de la manera proporcional y equitativa que dispongan las leyes”, cuya primera línea advierte la obligación de los mexicanos de contribuir al Estado, y especifica el principio que ésta deberá ser de manera proporcional y equitativa.

Resulta innegable, que el principio de proporcionalidad puntualiza “la capacidad contributiva del obligado al pago” de los impuestos (las cargas tributarias), considerando la suficiencia de pago de cada uno de los contribuyentes, es decir, esta capacidad está directamente vinculada al nivel de ingresos, y entre mayores sean los ingresos del contribuyente el impuesto deberá aumentar, “de acuerdo con la posibilidad del que ha

de pagar el tributo”. La Suprema Corte de Justicia de la Nación fijó jurisprudencia en la que expresa que “los gravámenes deben fijarse de acuerdo con la capacidad económica de [...], de manera que las personas que obtengan ingresos elevados tributen en forma cualitativamente superior a los de medianos y reducidos recursos”.

En el ámbito legal, la Ley de Organizaciones Ganaderas ha descrito a la actividad ganadera como el conjunto de acciones para la explotación racional de especies animales orientadas a la producción de carne, leche, huevo, miel, piel, lana y otras de interés zootécnico, con la finalidad de satisfacer necesidades vitales o del desarrollo humano.

A su vez, la Ley del Impuesto sobre la Renta define las actividades ganaderas como las que realizan los propietarios del ganado, aves de corral y animales, y las actividades de engorda de ganado, así como la primera enajenación de sus productos, que no hayan sido objeto de transformación industrial. También realizan actividades ganaderas, los compradores que adquieren por primera vez el ganado cuando realicen actividades de engorda de ganado, siempre que el proceso de engorda se haga en un periodo mayor a tres meses contados a partir de la compra.

Para los efectos fiscales en México, las actividades de la ganadería están clasificadas como una actividad empresarial.

### VII.11.2 EL ANTIGUO ESQUEMA DE “BASES ESPECIALES DE TRIBUTACIÓN”

Las reglas generales de Bases Especiales de Tributación fueron reglas a las que podían optar los contribuyentes personas físicas. Establecían las condiciones que prevalecieron para la introducción de ganado y aves, además facilitaron el cumplimiento de las obligaciones fiscales para el pago del Impuesto Sobre la Renta (ISR) y sobre las erogaciones por remuneración al trabajo personal prestado bajo la dirección y dependencia de un patrón.

Las personas físicas que introdujeron ganado o aves a los centros de sacrificio para su matanza y venta de la carne en canal y subproductos obtenidos de los animales sacrificados, podían aplicar para este régimen de base específica de tributación. Los ingresos objeto del impuesto fueron los percibidos por las personas físicas, que provenían de la venta de carne en canal, aves sacrificadas y subproductos (pieles en crudo, cebo, vísceras, cerda, cuernos,

pezuñas, pluma y sangre) obtenidos de los animales introducidos a los centros de sacrificio para su matanza. Los introductores que tuvieran explotación en ranchos o granjas que se dedicaran a la cría, engorda de ganado o aves, los animales provenientes de dichos ranchos o granjas, también pagaban el impuesto en esta figura fiscal.

El impuesto se determinaba con base en el número de cabezas de ganado, de aves introducidas para su sacrificio o del número de canales introducidos para su venta con base en una zonificación de tres franjas geográficas.

### VII.11.3 RÉGIMEN SIMPLIFICADO PARA LAS ACTIVIDADES GANADERAS

A partir de 1990 surge el Régimen Simplificado, que para dicho año fue opcional y para 1991 se convirtió en un régimen obligatorio en la ganadería. El régimen definió que las personas físicas que realizaran actividades ganaderas no pagarían el Impuesto Sobre la Renta, siempre que no hubieran excedido en el año anterior, ingresos por 75'258,400.00, 69'613,500.00, y 62'750,300.00, para áreas geográficas áreas A, B y C, respectivamente. En el caso de las personas morales, se elevaban las cantidades anteriores por el número de sus integrantes sin exceder de 10. Y en este último supuesto, los integrantes de las personas morales no estaban obligados a pagar el impuesto, aun y cuando sus ingresos hubieran excedido las cantidades señaladas.

Se encontraban exentas de pago del impuesto por las actividades ganaderas, los ejidos y comunidades; uniones de ejidos y de comunidades; la empresa social constituida por vecindados e hijos de ejidatarios con derechos a salvo; asociaciones rurales de interés colectivo; unidades agrícolas industriales de la mujer campesina; y las colonias agrícolas y ganaderas.

Las personas físicas y morales que obtuvieran ingresos de diez a veinte salarios mínimos vigentes a esa fecha, tenían la obligación de inscribirse en el registro federal de contribuyentes, y de expedir y conservar comprobantes por las operaciones que realizaron, los cuales debían tener la leyenda "No Contribuyente".

Los contribuyentes cuyos ingresos en el año de 1990 hubieran excedido la cantidad señalada entonces, determinaban el impuesto sobre la renta con base en el Régimen Simplificado, considerando la diferencia de restarle al total de las entradas el total de las salidas. Se comprendía por entradas

la cantidad obtenida en efectivo, en bienes o en servicios por los ingresos propios de la actividad; por los préstamos obtenidos; por los intereses cobrados; los recursos provenientes de la venta de títulos de crédito distintos de las acciones; los retiros de cuentas bancarias; los recursos que obtuvieran por la venta de los bienes que hubieran utilizado en el desarrollo de su actividad; las cantidades devueltas por otros impuestos; las aportaciones de capital; y los impuestos trasladados por el contribuyente.

Se consideraban salidas a las devoluciones, descuentos y las bonificaciones; las adquisiciones de mercancías; los gastos; las adquisiciones de bienes; la adquisición de títulos de crédito; los depósitos e inversiones en cuentas bancarias del contribuyente; el pago de préstamos; los intereses pagados; los pagos de contribuciones a cargo del contribuyente; los impuestos que le trasladen al contribuyente; las retenciones de impuestos; el reembolso de las aportaciones de capital. Específicamente las cooperativas ganaderas también podían considerar como salidas los anticipos y rendimientos pagados a sus miembros; así como las cantidades que se hubieran aportado para constitución de los fondos sociales. Las salidas se registraban en un cuaderno de entradas y salidas, en el que se señalaba la cantidad total.

En el caso de los contribuyentes de más de veinte salarios mínimos la cantidad del impuesto se disminuía en un 50 % y, en el caso específico de las personas morales, tenían el derecho a veinte salarios mínimos por integrante, sin exceder de doscientos salarios mínimos.

Los gastos por mano de obra, alimentación del ganado y otros gastos menores, fueron deducibles en los porcentajes para cada especie de ganado, respecto del total de los ingresos propios de la actividad: bovina 60 %, tratándose de ganado lechero 80 %; caprina 77 %; cunícola 74 %; ovina 77%; y porcícola 77 %. Además enteraban el 3 % por productos del trabajo, lo cual determinaban sobre el total de los pagos por este concepto; y el 1 % del impuesto sobre erogaciones por remuneración al trabajo personal prestado bajo la dirección y dependencia de un patrón, aunque no estuvieran obligados a llevar nóminas.

En el supuesto de que varios ganaderos se agruparan con el objeto de realizar gastos necesarios para el desarrollo de las actividades ganaderas en forma conjunta, estos podían hacer deducible la parte proporcional del gasto en forma individual, aun cuando los comprobantes correspondientes estuvieran a nombre de alguno de ellos.

Para el año de 1997 la exención continuó aplicándose y cuando los contribuyentes, personas físicas y morales, se excedían de los límites para considerarse exentos, en sustitución se calculaba la reducción a la base del impuesto.

No podían optar por pagar el impuesto quienes en el año anterior obtuvieron más del 25 % por concepto de mediación, comisión, agencia, representación, correduría, consignación, distribución o espectáculos públicos.

Hasta el año de 2001 el Régimen Simplificado continuó gravando con base entradas y salidas. Las personas físicas a partir del año 2002 tributaron en el Régimen de las actividades empresariales y profesionales previsto en la ley, o bien en el régimen intermedio de las personas físicas con actividades empresariales, de los cuales los principales beneficios fueron:

- a. La reducción del ISR en un 30 %
- b. La exención en el ISR para las personas morales hasta por 20 salarios mínimos anuales del área geográfica del contribuyente por cada uno de sus socios o asociados, siempre que no excediera de 200 veces el salario mínimo correspondiente al área geográfica del Distrito Federal;
- c. La exención en el ISR para personas físicas hasta por un nivel de ingresos de 40 salarios mínimos anuales del área geográfica del contribuyente
- d. La posibilidad de aplicar una serie de facilidades administrativas para la comprobación de erogaciones sin comprobantes fiscales

Para este régimen fiscal no había obligación de determinar al cierre del ejercicio, el ajuste anual por inflación.

## VII.11.4 LA FIGURA TRIBUTARIA ACTUAL DE LAS ACTIVIDADES GANADERAS

El Régimen simplificado de flujo de efectivo (vigente de 2002 a 2013), con la reforma fiscal 2014 tuvo modificaciones sustanciales. El nuevo esquema fiscal llamado *Régimen de actividades agrícolas, ganaderas, silvícolas y pesqueras*, aunque implica flujo de efectivo, la nueva disposición tiene beneficios acotados respecto al régimen anterior. La exposición de motivos de la autoridad describe que la ley del ISR (LISR) daba ciertos beneficios a contribuyentes que, a criterio de ésta, eran un exceso e iban en contra del principio de recaudación

tributaria efectiva, describiendo específicamente al sector primario. La aplicación de estos beneficios generaba inequidad, ya que contribuyentes que obtienen un monto de utilidad igual, al pertenecer a distintos sectores de actividad, enfrentan cargas fiscales diferentes. Según el principio de equidad horizontal establece que los contribuyentes en igualdad de circunstancias deberían recibir el mismo tratamiento; además, estas medidas – argumentaban– afectan la neutralidad del sistema tributario, toda vez que introducen distorsiones que hacen que la inversión no necesariamente se destine a aquellas actividades en donde resulta más productiva. En este sentido, y con el propósito de contar con un sistema tributario equitativo y eficiente, se propuso eliminar el régimen simplificado, y por ende, los beneficios de exención, tasa reducida y facilidades administrativas, debido a que su permanencia no se justificaba, en la argumentación del recaudador.

La eliminación del Régimen Simplificado que permaneció por muchos años trajo consigo algunas modificaciones importantes para los ganaderos. El nuevo régimen describe un término de exclusividad, para indicar que pueden tributar con estas características, cuando la suma de los ingresos por las actividades primarias represente el 90 % de sus ingresos totales, sin incluir los ingresos por las ventas de activos fijos y terrenos.

Los contribuyentes del sector que pueden permanecer en el nuevo Régimen son: 1) Las personas morales que se dediquen a las actividades ganaderas; y las sociedades cooperativas de producción, y las demás personas morales que se dediquen a tal actividad. 2) Las personas físicas que se dediquen a la ganadería.

Son ingresos exentos para las personas morales con ingresos que no excedan de veinte salarios mínimos elevados al año por socio, sin exceder en su totalidad de doscientos salarios mínimos; personas físicas con ingresos que no excedan de cuarenta salarios. Para ambos contribuyentes, los ingresos son exentos y no habrá pago del impuesto sobre la renta a pagar.

Los ingresos que excedan de cuarenta salarios mínimos en personas físicas y de veinte salarios mínimos por socio en personas morales, pero que en ambos casos (personas físicas y morales), sus ingresos sean inferiores a cuatrocientos veintitrés salarios mínimos, la reducción del impuesto será de cuarenta por ciento para personas físicas y de treinta por ciento para personas morales.

Personas morales que no sean sociedades o asociaciones de productores, el límite será de cuatrocientos veintitrés salarios mínimos independientemente del número de socios que ésta tenga.

Las sociedades o asociaciones de productores ganaderas constituidas exclusivamente por socios o asociados personas físicas, y que cada socio o asociado tenga ingresos superiores a veinte veces el salario mínimo general elevado al año, pero que no excedan de cuatrocientas veces el salario mínimo general, y que en su totalidad los ingresos en el ejercicio de la sociedad o asociación no excedan de cuatro mil doscientos treinta veces el salario mínimo general, pagarán el impuesto a la tasa reducida en un 30%.

Las personas morales que se dediquen a la ganadería, para determinar la reducción del ISR y determinar el ISR por el excedente a cuatrocientos veintitrés veces salario mínimo elevado al año, aplicarán el procedimiento de cálculo que considera la utilidad fiscal de los ingresos propios de la actividad agropecuaria y los de actividades no agropecuarias, entre otros.

Las Facilidades Administrativas se acotan para el nuevo año, pues solamente las reglas refieren a la comprobación por concepto de mano de obra de trabajadores eventuales del campo; alimentación de ganado, y gastos menores, los cuales, en su conjunto, no podrán exceder de un 10 % de sus ingresos propios, con un límite de \$800,000, siempre que el gasto haya sido pagado en el año fiscal de que se trate y esté vinculado con la actividad. Esta reforma contrasta con las facilidades administrativas que se venían otorgando a este sector en los últimos años. También es importante que el gasto se haya registrado en su contabilidad y sea acumulado durante el año. En el caso de que los gastos rebasen el 10 % de los ingresos, dichas erogaciones se reducirán, manteniendo la misma estructura porcentual de cada una de ellas, al ejemplo que se ilustra:

Cuadro 2. Límite de los gastos a deducir				
Concepto	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D
Ingresos	10,000,000	10,000,000	6,000,000	2,500,000
Límite 10%	1,000,000	1,000,000	600,000	250,000
Tope según regla	800,000	800,000	800,000	800,000
Gastos totales	750,000	1,200,000	700,000	500,000
Monto a deducir según facilidad	750,000	800,000	600,000	250,000

Fuente: Molina 2014.

Los gastos que se comprueben con documentación deberán contener el nombre, denominación o razón social y domicilio del enajenante de los bienes o del prestador de los servicios; el lugar y fecha de expedición; la cantidad y clase de mercancías o descripción del servicio; y el valor unitario consignado en número e importe total consignado en número o letra.

Los contribuyentes personas morales y personas físicas podrán realizar pagos provisionales semestrales del ISR, también podrán enterar las retenciones que efectúen a terceros en los mismos plazos en los que realicen sus pagos provisionales, siempre que presenten en el mismo plazo la declaración correspondiente al IVA. También tendrán la obligación de expedir el Comprobante Fiscal Digital por Internet (CFDI) a través de un proveedor de servicios autorizado.

Para las retenciones del ISR por los pagos efectuados a sus trabajadores eventuales del campo, los contribuyentes podrán enterar el 4 % por concepto de retenciones del ISR, por concepto de mano de obra, en cuyo caso, sólo deberán elaborar una relación individualizada de dichos trabajadores, que indique el monto de las cantidades que les son pagadas en el periodo de que se trate, así como del impuesto retenido.

Las personas físicas o morales que efectúen pagos a contribuyentes dedicados exclusivamente a actividades ganaderas, cuyo monto no exceda de \$5,000.00 a una misma persona en un mismo mes de calendario, estarán relevadas de efectuarlos con cheque nominativo del contribuyente, tarjeta de crédito, de débito o de servicios, o a través de los monederos electrónicos.

Cuando los pagos por consumos de combustible se realicen con medios distintos a cheque nominativo del contribuyente, tarjeta de crédito, de débito o de servicios o monederos electrónicos, no deben exceder el 15 % del total de los pagos efectuados por consumo de combustible, para considerarse que cumplan con los requisitos para hacerlo deducible.

Otra consideración importante del sistema tributario actual que también repercute en el sector ganadero, es la estrategia del Sistema de Administración Tributaria (SAT) enfocada a la digitalización de todos los comprobantes fiscales a través de la factura electrónica o CFDI, cuyo aspecto benéfico para el ganadero puede ser en un momento dado la facilidad para que las devoluciones de impuestos sean más rápidas. Asimismo, el requisito de emitir facturación electrónica le es exigido al ganadero que desee participar en programas de apoyo, como los que otorga SAGARPA. La Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas (CNOG), a través de sus Asociaciones Ganaderas, auxilia a sus productores afiliados en la emisión de sus CFDI.

### **VII.11.5 PERSONA MORAL POR CUENTA DE SUS INTEGRANTES**

Una persona moral puede cumplir con las obligaciones fiscales a cuenta de sus integrantes; ésta es la responsable del cumplimiento de las obligaciones fiscales. Los integrantes son responsables solidarios por la parte que les corresponda. Para ello considerarán los ingresos cobrados y deducciones efectivamente pagadas (conforme a flujo de efectivo), y deberán calcular y enterar por cada uno de sus integrantes, los pagos provisionales y el impuesto del ejercicio. Al resultado obtenido, las personas físicas aplicarán las tarifas del impuesto, y las personas morales el 30 %. Contra el impuesto anual se podrán acreditar los pagos provisionales efectuados por la persona moral, y el impuesto anual se pagará en marzo o abril del año siguiente, según sea persona moral o física.

Las personas físicas que no rebasen \$10'000,000 de ingresos, inclusive cuando se constituyan mediante sociedades o asociaciones de productores, podrán

deducir como gastos, las erogaciones efectivamente realizadas en el ejercicio para la adquisición de activos fijos, gastos o cargos diferidos.

Las personas morales deberán efectuar por cuenta de sus integrantes, las retenciones y el entero de éstas y, en su caso, expedir las constancias de esas retenciones. Deberán llevar un registro por separado de los ingresos, gastos e inversiones, de las operaciones que realicen por cada uno de sus integrantes; y deberán emitir y recabar la documentación comprobatoria de los ingresos y de las erogaciones de las operaciones que realicen por cuenta de cada uno de sus integrantes.

Se deberá cumplir con las obligaciones formales, de retención y de entero, del impuesto. Las personas morales cumplirán con sus propias obligaciones y lo harán en forma conjunta por sus integrantes. El impuesto que determinen por cada uno de sus integrantes se enterará de manera conjunta en una sola declaración. Es importante destacar que no hay obligación de determinar al cierre del ejercicio, el ajuste anual por inflación.

## **VII.12 RETOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **VII.12.1 SOBRE EL PRODUCTOR DE BOVINOS EN EL TRÓPICO Y SU UNIDAD DE PRODUCCIÓN**

Los diagnósticos y marcos de referencia realizados y dirigidos a conocer la problemática de la ganadería bovina en México, han contribuido a identificar los sistemas de producción de carne y leche, así como a conocer de manera descriptiva los diferentes eslabones que conforman la cadena agroalimentaria de carne y leche bovina; sin embargo, han faltado niveles de precisión y cuantificación para crear estrategias de investigación que partan de bases sólidas.

Se requiere que los diagnósticos se realicen como un proceso, el cual parta de información estática y prosiga con un monitoreo permanente de los sistemas productivos y los diferentes eslabones que conforman la cadena, y su interacción con el contexto; en forma posterior y en periodos de tiempo determinado, se evalúen midiendo los avances o retrocesos de la actividad, misma que permita implementar estrategias exitosas.

También se requiere enfocarse al conocimiento de la productividad, los costos de producción, y la rentabilidad de productor de bovinos en las regiones tropicales y sus determinantes, que generen

indicadores de eficiencia técnica y económica, que contribuyan con información confiable para la toma de decisiones a todos los niveles.

## VII.12.2 SOBRE LA AGROINDUSTRIA Y LAS CADENAS DE VALOR

La ganadería bovina tropical genera principalmente leche y carne, por ello su relación es con la agroindustria que procesa estos dos productos; de acuerdo a la investigación documental realizada, la agroindustria que más se ha estudiado por las universidades y los centros públicos de investigación es la de transformación artesanal de leche, por ello se requiere incrementar el conocimiento de la agroindustria transformadora de carne, con un enfoque de cadena de valor.

También los centros de investigación pecuaria e instituciones de enseñanza superior en materia ganadera tienen un papel relevante dentro de las acciones a tomar para enfrentar los retos de la primera mitad del Siglo XXI, por medio de la implementación de estudios prospectivos y de los cuales se señalan los siguientes:

- Dar respuesta a una creciente demanda de alimentos de origen pecuario (leche y carne), debido al incremento de la población mundial, la cual por un lado, exige cambios en los patrones de consumo, con calidades específicas y condiciones predeterminadas, y por el otro, sociedades en franco deterioro nutricional e inclusive en pobreza extrema, que carecen de recursos monetarios para comprar cualquier tipo de alimento.
- Desarrollar una ganadería que resulte ambientalmente sostenible, que contribuya de manera decidida a la mitigación del cambio climático y revertir la degradación de los recursos naturales.
- Generar nuevas tecnologías pecuarias para desarrollar especies bovinas adaptadas a los climas que se proyectan en el futuro, que tengan una mayor productividad por cabeza, y que tengan una menor generación de gases (metano) de efecto invernadero.

Finalmente, el área de socioeconomía tiene el reto de contribuir a la evaluación de la sustentabilidad de las cadenas de valor, dado el entorno vulnerable y cambiante que enfrentará la ganadería tropical en el futuro.

## VII.12.3 SOBRE ESTUDIOS DE POLÍTICA PÚBLICA DE APOYO A LA GANADERÍA TROPICAL Y SUS IMPACTOS

La política pública de apoyo a la ganadería tropical se debe enfocar a la promoción de procesos de innovación; por ello los estudios del área de socioeconomía tienen el reto de evaluar los impactos de los programas de transferencia de tecnología y de los programas de desarrollo, mediante estudios de evaluación de la adopción y de impactos sociales, ambientales y económicos de la implementación de estos programas.

El argumento de estos retos se sustenta en que independientemente de la tecnología, la innovación requiere promover procesos empresariales para que se puedan alcanzar las eficiencias de las tecnologías. Dado que el proceso de innovación contempla múltiples interacciones entre áreas, debe ser colaborativo, participativo y consensuado entre actores desde un enfoque sistémico. En cualquier caso, es necesario potenciar el apoyo técnico especializado a los productores en las distintas áreas, los flujos dinámicos de información (roles cambiantes entre actores), la articulación sectorial y el apoyo de las administraciones e instituciones de investigación, mediante el desarrollo de políticas activas orientadas al complejo agroalimentario conformado por los sistemas bovinos de las regiones tropicales, en donde los estudios socioeconómicos juegan un papel central al generar conocimiento que sustente la política pública.

Finalmente el desarrollo de la ganadería tropical requiere también de la inversión de recursos del productor, lo cual se logrará si existe una política fiscal que incentive la inversión privada en la actividad ganadera; por ello el área de socioeconomía requiere generar información sobre los cambios de la política fiscal del país, por ejemplo, los establecidos para el 2014 que pretendían derogar los llamados regímenes especiales, como es el caso específico del Régimen Simplificado para el sector agropecuario, cuya eliminación fue parcial.

## VII.13 LITERATURA CONSULTADA

- Aguirre A. Con la digitalización fiscal la devolución de impuestos es más rápida para el ganadero. *Revista Ganadero* 2015; 2:44-50.
- Albarrán-Portillo B, Rebollar-Rebollar S, García-Martínez A, Rojo-Rubio R, Avilés-Nova F, Arriaga-Jordán C. Socioeconomic and productive characterization of dual purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2015;47:1-5.
- Angón E, García A, Perea J, Acero R, Toro-Mujica P, Pacheco H, González A. Technical efficiency and viability of grazing dairy cattle systems in La Pampa, Argentine. *Agrociencia* 2013;47:443-456.
- Astigarra, E. La Función Prospectiva en la Empresa. VII Congreso Español de Sociología. Convergencias y Divergencias en la Sociedad Global. Salamanca. España. 2001.
- Azpe G. El sector agropecuario frente al nuevo régimen fiscal para 2014. *Puntos Finos* 2013;12:56-60.
- Bartl K, Mayer AC, Gómez CA, Muñoz E, Hess HD, Hollmann F. Economic evaluation of current and alternative dual - purpose cattle systems for smallholder farms in the central Peruvian highlands. *Agricultural Syst* 2009; 101:152-161.
- Bernues A, Herrero M. Farm intensification and drivers of technology adoption in mixed dairy systems in Santa Cruz Bolivia. *Spanish J Agr Res* 2008;6:279-293.
- Caravaca RF, Mena GY. Marco de referencia de los sistemas de producción: Los conceptos de desarrollo sostenible y uso múltiple en los sistemas agro ganaderos como integrante de los sistemas naturales. *Revista de enseñanza universitaria Extraordinario* 2006. Pp 207-226. Sevilla España. [http://institucional.us.es/revistas/universitaria/extra2006/art\\_11.pdf](http://institucional.us.es/revistas/universitaria/extra2006/art_11.pdf).
- Castro L, Sánchez G, Iruegas E, Saucedo G. Tendencias y oportunidades de desarrollo de la red leche en México. *FIRA Boletín Informativo*. Volumen XXXIII. núm. 317. 9a. Época. Año XXX. Septiembre. México, D.F; 2001.
- CONARGEN. Programa Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios 1:1-43. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Otros/Attachments/2/conargen.pdf>.
- Cortés H, Aguilar C, Vera R. Sistemas bovinos doble propósito en el trópico bajo de Colombia. Modelo de simulación. Pontificia Universidad Católica de Chile. Departamento de Zootecnia. 2003.
- Cortés-Mora J, Cotes-Torres A, Cotes-Torres J. Avances en clasificación de Sistemas de Producción con Bovinos Doble Propósito en Colombia. *Arch Zootec* 2014;63(243):559-562.
- Cuevas-Reyes V, Baca del Moral J, Cervantes-Escoto F, Espinosa-García JA, Aguilar-Avila J, Loaiza-Meza A. Factors which determine use of innovation technology in dual purpose cattle production units in Sinaloa, México. *Rev Mex Cien Pecu* 2013;4:31-46.
- Chalate-Molina H, Gallardo López F, Pérez-Hernández P, Lang-Ovalle FP, Ortega-Jiménez E, Vilaboa-Arroniz J. Características del sistema de producción bovinos de doble propósito en el estado de Morelos, México. *Zoot Trop* 2010;28(3):329-339.
- De Pablos-Heredero C, Fernández-Renedo C and Medina-Merodio JA. Technical efficiency and organ transplant performance: a mixed-method approach. *Inter J Environ Res Public Health Transformations in Business and Economics*. 2015;12:4869-4888.
- Del Valle MC. La innovación tecnológica en el sistema lácteo mexicano y su entorno mundial. México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, Miguel Ángel Porrúa; 2000.
- Delgadillo L. Principios del Derecho Tributario. 1ª ed. México, Limusa; 2004.
- Diario Oficial de la Federación. Acuerdo que establece mediante Reglas Generales, Bases Especiales de Tributación en Materia de los Impuestos Federales que se indican, a las personas físicas dedicadas a la actividad de introducción de ganado y aves. México, 3 de junio de 1986.
- Diario Oficial de la Federación. Ley de organizaciones ganaderas. México, 6 de enero de 1999, última reforma 9 de abril de 2012.
- Diario Oficial de la Federación. Ley del Impuesto Sobre la Renta. México, 11 de diciembre de 2013, última reforma.
- Diario Oficial de la Federación. Ley que establece, reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones fiscales. México, 31 de diciembre de 1985.

Diario Oficial de la Federación. Oficio circular por el que se establecen por el ejercicio de 1977, bases especiales de tributación en materia del impuesto al ingreso de las empresas, impuesto sobre productos del trabajo e impuesto sobre las erogaciones por remuneración al trabajo personal, a los ganaderos, avicultores y apicultores. México, 30 de septiembre de 1977.

Diario Oficial de la Federación. Resolución de Facilidades Administrativas en el Régimen Simplificado 2000. México, 29 de diciembre de 1999.

Diario Oficial de la Federación. Resolución de facilidades administrativas para los sectores de contribuyentes que en la misma se señalan para 2015. México, martes 30 de diciembre de 2014, primera sección.

Diario Oficial de la Federación. Resolución Miscelánea Fiscal para 2015. México, martes 30 de diciembre de 2014, tercera sección.

Diario Oficial de la Federación. Resolución que otorga facilidades administrativas a los sectores de contribuyentes que en la misma se señalan. México, 4 de febrero de 1991.

Díaz P, Oros V, Vilaboa J, Martínez JP, Torres G. Dynamics of development of dual purpose cattle in Las Choapas, Veracruz, Mexico. *Trop Subtrop Agroecosystems* 2011;14:191-199.

Dubeuf JP. The social and environmental challenges faced by goat and small livestock local activities: Present contribution of research-development and stakes for the future. *Small Ruminant Res* 2011;98:3-8.

Espinosa JA and Wiggins S. Potential economic benefits of dual purpose livestock technology in Mexican tropics. *Tec Pecu Mex* 2003;41:19-36.

Financiera rural. Bovinos y sus derivados. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. <http://www.gbcbiotech.com/bovinos/industria/Bovino%20y%20sus%20derivados%20Financiera%20Rural%202012.pdf>.

Food and Agriculture Organization (FAO). Ayudando a desarrollar una ganadería sustentable en Latinoamérica y el caribe: lecciones a partir de casos exitosos. FAO, Santiago, Chile. 2008.

Food and Agriculture Organization (FAO). World Livestock 2011 – Livestock in food security. FAO. Rome, Italy. 2012.

Fuentes A. Régimen Fiscal Simplificado para el Sector Agropecuario. 1ª ed. México, ISEF; 1997.

Funprover. Semblanza de la ganadería en México [http://www.funprover.org/agroentorno/agro\\_septdicaniv014/semblanzaganadmexico.pdf](http://www.funprover.org/agroentorno/agro_septdicaniv014/semblanzaganadmexico.pdf)

Gallegos J. Reducción del ISR para contribuyentes dedicados a realizar actividades del sector primario. *Fisco Actualidades* 2015;4:1-18.

García LA. Estrategias de las Agroindustrias Lecheras Latinoamericanas. Estudio Comparativo ante el Proceso de Globalización Económica. *Rev Mex Agronegocios* 2001;V(9):263-273.

Gay A, Ferreras MA. La educación tecnológica. Aportes para su implementación. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación. Buenos Aires, Argentina. 2012.

Godet M, Durance P. La prospectiva estratégica para las empresas y territorios. Cuadernos del Lipsor. Serie de Investigaciones No. 10. El Cercle des Entrepreneurs du Futur. Paris, Francia. 2009.

Gómez CH, Tewolde MA, Nahed TJ. 2002. Análisis de los sistemas ganaderos de doble propósito en el centro de Chiapas, México. *Arch Latinoam Prod Anim* 2002;10(3):175-183.

Hernández MP, Estrada FJG, Avilés-Nova F, Yong AG, López GF, Solís MAD, Castelán-Ortega OA. Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Universidad y Ciencia, Trópico húmedo. UJAT* 2013;29(1):19-31.

IMCP. Manual del Régimen Simplificado. 1ª ed. México, IMCP; 2000.

Kanuya NL, Matiko MK, Nkya R, Bittegeko SBP, Mgasa MN, Reksen O, *et al.* Seasonal changes in nutritional status and reproductive performance of Zebu cows kept under a traditional agro-pastoral system in Tanzania. *Springer Science+Business Media B.V.* 2006.

Kemenes PA, Regitano LCA, Rosa AJM, Packer IU, Razook AG, Figueiredo LA, *et al.* K-casein, b-lactoglobulin and growth hormone allele frequencies and genetic distances in Nelore, Gyr, Guzerá, Caracu, Charolais, Canchim and Santa Gertrudis cattle. *Genet Mol Biol* 1999;22(4):539-541.

Le Gal PY, Dugué P, Faure G, Novak S. How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agricultural Syst* 2011;104:714-728.

- Lentes P, Peters M and Holmann F. Regionalization of climatic factors and income indicators for milk production in Honduras. *Ecological Economics* 2011; 69:539-552.
- Linstone, H. A. and Turoff. *The Delphi Method. Techniques and application readings.* Addison Wesley, Massachussets, USA. 1975.
- Magana JG, Tewolde A, Anderson S, Segura JC. Productivity of different cow genetic groups in dual-purpose cattle production systems in south-eastern Mexico. Springer Science+Business Media B.V. 2006.
- McManus C, Louvandini H, Carneiro HC, Lima MPR, Neto BJ. Production indices for dual-purpose cattle in central Brazil. *Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 2011.
- Molina, L. Sector Primario. Régimen agropecuario. *PAF* 2014; 594:65-72.
- Nicholson CF, Blaket JRW, Urbinaz CI, Lee DR, Fox DG, Van SPJ. Economic comparison of nutritional management strategies for Venezuelan dual-purpose cattle systems. *J Anim Sci.* 2014.
- Olawumi SO, Salako AE. Genetic parameters and factors affecting reproductive performance of White Fulani cattle in Southwestern, Nigeria. *Global Veterinaria* 2010;5(5):255-258.
- Oosting S, Udo H, Viets T. Development of livestock production in the tropics: farm and farmers' perspectives. *Animal* 2014;8:1238-1248.
- Ortega C. *Derecho Fiscal.* 1ª ed. México, Porrúa; 2012.
- Osorio AM, Segura CJ. Reproductive performance of dual-purpose cows in Yucatan, México. *Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Mexico.* 2002.
- Páez, L, Jiménez, M. Caracterización estructural y tipologías de fincas de ganadería de doble propósito en la microregion Acequia-Socopo del estado Barinas. *Zoot Trop* 2002;18(2):177-196.
- Poméon T, Cervantes F. El sector lechero y quesero en México de 1990 a 2009: entre lo global y local. *Reporte de Investigación.* México. 2010;(89):1-47.
- Rangel J, Torres Y, De Pablos-Heredero, Espinoza JA. Identification of technological areas for dual purpose cattle in Mexico and Ecuador. 66th Annual Meet of the European Federation of Anim Sci EAAP, Warsaw, Poland. 2015.
- Real Academia Española. *Diccionario de la lengua Española.* Madrid, España. 2014.
- Rivas J, Perea J, Angón E, Barba C, Morantes M, Dios-Palomares R, García A. Diversity in the dry land mixed system and viability of dairy sheep farming. *Italian J Anim Sci* 2015;14:179-186.
- Rubio CJ, Villanueva AV, Bonilla JF, Cárdenas AJ. Complementación alimenticia para bovinos de doble propósito en Nayarit. *Folleto Técnico Núm.. INIFAP.* 2007.
- Rueda BL, Blake RW, Nicholson CF, Fox DG, Tedeschi LO, PellAN, *et al.* Production and economic potentials of cattle in pasture-based systems of the western Amazon region of Brazil. *Am Soc Anim Sci.* 2003.
- Salas-González JM, Leos JA, Sagarnaga LM, Zavala MJ. Adopción de tecnologías por productores beneficiarios del programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN) en México. *Rev Mex Cien Pecu* 2013;4:243-254.
- Sánchez MA, Nava R, Guillén A, González I. *Neoliberalismo y populismo: la imagen modernizadora del Estado mexicano [tesis licenciatura].* México, DF: Universidad Autónoma Metropolitana; 1994.
- Sánchez SA. *Parámetros Reproductivos de Bovinos en Regiones Tropicales de México.* Monografía. Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Veracruz, México. 2010.
- Sandoval, E. et al. Caracterización de las diferentes modalidades de producción del sistema de ganadería bovina de doble propósito del Municipio José Antonio Páez del estado Yaracuy, Venezuela. *Rev Fac Agron (LUZ)* 2007;24:501-521.
- Saucedo G, Alvarez FJ, Jimenez N, Arriaga A. *Leucaena leucocephala* as a supplement for milk production on tropical pastures with dual-purpose cattle. *FIRA, Banco de Mexico, Cardenas, Tabasco,* 1980.
- Scholtz MM, Bester J, Mamabolo JM, Ramsay KA. Results of the national cattle survey undertaken in South Africa, with emphasis on beef. *Appl Anim Husb Rural Develop* 2008;1:1-9.
- Sheen RS, Riesco DA. Factores que afectan la producción de leche en vacas de doble propósito en trópico húmedo (pucallpa). *Rev Inv Vet,* 2002;13(1):25-31.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Boletín de leche. Enero-marzo 2013, SIAP-SAGARPA. México. 2013.

Toro-Mujica P, García A, Gómez-Castro G, Acero R, Perea J, Rodríguez-Estévez V, Aguilar C. Technical efficiency and viability of organic dairy sheep farming systems in a traditional area for sheep production in Spain. *Small Ruminant Res* 2011;100:89-95.

Torres Y, Rivas J, De Pablos-Heredero C, Perea J, Toro-Mujica P, Angón E, García A. Identificación e implementación de paquetes tecnológicos en ganadería vacuna de doble propósito. Caso Manabí-Ecuador. *Rev Mex Cien Pecu* 2014;5:393-407.

Urdaneta GF, Peña ME, Rincón R, Romero J, Rendón-Ortín M. Gestión y tecnología en sistemas ganaderos de doble propósito (*taurus indicus*). *Revista Científica. FCV-LUZ* 2008; XVIII(6):715-724.

Van't Hooft K, Wollen T. Sustainable livestock management for poverty alleviation and food security. CAB International, London, UK. 2012.

Vatin F. L'industrie du lait: essai d'histoire économique. Editions L'Harmattan, París. 1990.

Velasco J, Ortega-Soto L, Urdaneta F, Sánchez E. Relationship between level of technology and productivity indices of dual-purpose cattle farms located on the Maracaibo Lake Basin. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias La Universidad del Zulia* 2009;19:84-92.

VilaboaAJ, DíazRP. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del Estado de Veracruz, México. *Zootecnia Tropical* 2009;27(4):427-436.

Villegas de Gante A. Tecnología Quesera. México. Editorial Trillas S.A. 2004.

Yamamoto W, Dewi IA, Ibrahim M. Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-purpose cattle farms at the semi-humid old agricultural frontier in central Nicaragua. *Agricultural Syst* 2007;94:368-375.

# CAPITULO VIII

## LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA BOVINA EN LAS REGIONES TROPICALES DE MÉXICO

Raymundo Vázquez Gómez

Justo Alberto Rivera Maldonado

Alfredo González Sotelo

Eduardo José Cabrera Torres

(251

CAPITULO VIII

### VIII.1 INTRODUCCIÓN

El proceso de innovación tecnológica en el agro está orientado a proveer las herramientas de conocimiento, para lograr el manejo eficiente de los sistemas agrarios a través de la implementación de procesos de conocimiento, aprendizaje y adopción de nuevas técnicas, que permitan alcanzar y mantener niveles adecuados de productividad y rentabilidad, manteniendo un enfoque de sostenibilidad de los recursos naturales. De manera complementaria, estos procesos deben generar el desarrollo de la capacidad de gestión para la administración de las Unidades de Producción, y mantener un contacto efectivo con el mercado y los diferentes tipos de servicios. La innovación tecnológica ha llegado principalmente a través de los sistemas nacionales de investigación y extensión, los cuales han sido los encargados de promover esos procesos.

Actualmente están promoviéndose nuevas metodologías, las cuales son o han sido notables en cuanto a sus características innovadoras, y a ciertos factores que inciden positivamente para la obtención de los logros esperados, y que aparecen repetidamente en estas experiencias; entre estos, se puede mencionar:

- Metodologías participativas conducentes al empoderamiento por parte de los actores locales.
- Alianzas institucionales fundamentadas en objetivos compartidos y asociados a los intereses de las poblaciones meta.
- Modelos de extensión fundamentados en la participación de líderes rurales (hombres y mujeres).

- Fortalecimiento de las capacidades socio-organizativas, administrativas, gerenciales y de gestión empresarial de las organizaciones de base, entre otros.

Los productores, como otros actores del desarrollo rural, necesitan mayor acceso a la información, conocimiento y asesoría, y deben vincularse con otros participantes de los mercados agroalimentarios y cadenas de valor. Ésta es una condición previa para que se alivie la pobreza rural, mejoren los medios de vida y los recursos naturales sean manejados de una manera más sostenible.

La ganadería bovina de las regiones tropicales de México, no ha sido ajena a los procesos señalados en párrafos anteriores; en el presente capítulo se intenta hacer una reseña de los principales modelos implementados para hacer llegar la tecnología a los productores de bovinos de esas regiones.

En primer término, se presentan de manera general los modelos y sus principales características, sobre los que se han sustentado las estrategias, a través de las cuales se ha buscado hacer llegar las innovaciones tecnológicas a estos sistemas de producción de la ganadería bovina de las regiones tropicales de nuestro país.

En segundo lugar, se describen las acciones y programas implementados que se corresponden con los grandes paradigmas y modelos que se han ensayado en el país. Es necesario acotar, que no necesariamente fueron establecidos para beneficiar a la ganadería bovina tropical, sino que fueron programas y acciones orientados al desarrollo rural del país y que, por ende, la ganadería bovina de las regiones tropicales no fue ajena a la influencia de dichos programas.

En tercer lugar, se plantean algunas recomendaciones para hacer más efectivas las acciones orientadas a transferir nuevos conocimientos y nuevas tecnologías, que impulsen el desarrollo de la ganadería bovina, y que puedan servir de base para un Programa de Transferencia de Tecnología de la Red de Investigación e Innovación Tecnológica para la Ganadería Tropical (REDGATRO).

## VIII.2 LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA: PARADIGMAS Y ENFOQUES CONCEPTUALES

En el proceso de desarrollo de la agricultura y ganadería de América Latina y de México, se han ensayado diversos modelos para hacer efectiva la incorporación de nuevas tecnologías a los sistemas de producción rurales. Así, se pueden identificar desde las formas o métodos lineales de transferencia de tecnología, donde los extensionistas actúan como el vehículo a través del cual se hacen llegar los adelantos tecnológicos a los productores; pasando por modelos y métodos participativos, donde se busca involucrar a los productores rurales en la decisión sobre cuál o cuáles deberían ser las mejores alternativas tecnológicas para mejorar sus procesos productivos; hasta modelos más recientes donde se considera un enfoque más integral, con la participación de todos los actores que inciden en el desarrollo rural y considerando también un enfoque más multidisciplinario e incluso transdisciplinario en el abordaje de los problemas que enfrenta el desarrollo del sector rural.

### VIII.2.1 MODELO LINEAL (DIFUSIÓN DE INNOVACIONES)

Para modernizar a la agricultura se ha utilizado el enfoque de Difusión de Innovaciones que se define como el “sistema de educación no formal que lleva la tecnología generada en las instituciones de investigación y docencia hacia los agricultores, para aumentar su producción y mejorar sus condiciones de vida”.

A través de esta teoría, se pretende que los productores adopten el mayor número de tecnologías en el menor tiempo posible, y considera cinco pasos básicos para que se efectúe la adopción de la misma: conocimiento, interés, enjuiciamiento, ensayo, y adopción; y los cuatro elementos principales de la teoría son la innovación, los canales de comunicación, el tiempo y el sistema social. Analiza, así como ayuda a entender, la

adaptación a una nueva innovación. Establece que el agente de cambio debería considerar: las características de la población objetivo (categorías de adopción), las características de la innovación o el cambio mismo, y las etapas de adopción. Cada una de estas tres categorías debería ser analizada y planeada para cuando se introduzca una innovación o un cambio. Esta teoría se caracteriza por ser unilateral y vertical, ya que las tecnologías que se generan en las instituciones de investigación se transfieren a los extensionistas, los que a su vez las difunden a los productores.

El Modelo Lineal que operó con algunas particularidades en diferentes países y regiones prácticamente hasta 1980, se caracterizó por ser una transferencia lineal entre el conocimiento científico y los productores, a través de los extensionistas, quienes debían promover la adopción y adaptación de tecnologías e innovaciones que provenían de las Estaciones Experimentales. En este modelo, el productor es un actor pasivo.

El proceso de transferencia de tecnología inicia con la investigación que es desarrollada en los Campos y Estaciones Experimentales, donde se generan y validan los nuevos adelantos; los cuales son trasladados a los Extensionistas a través de diferentes estrategias: eventos de capacitación (cursos y talleres), demostraciones en los Campos Experimentales y en ocasiones con productores cooperantes; publicaciones y folletos técnicos; entre muchos otros medios. A estos extensionistas se les asigna la tarea de masificar las nuevas innovaciones en las regiones y comunidades, donde fueron empleados casi siempre por instituciones oficiales de gobierno. En este modelo los productores son considerados como el destinatario final, cuya única función es la de aplicar en sus unidades de producción los nuevos conocimientos generados por los investigadores en sus laboratorios y parcelas experimentales.

El objetivo último del Modelo es el incremento de la producción, sin considerar los diversos problemas que enfrentan los productores, como la incorporación de valor agregado, el acceso a los mercados locales o regionales; o bien aspectos como educación, edad, la familia, y la disponibilidad o acceso a la tierra.

Este Modelo fue el mayormente utilizado en la época de la “Revolución Verde”, privilegiando el “saber científico” sobre el “saber popular”. El Modelo hizo crisis cuando los gobiernos de los diferentes países comenzaron a retirar los apoyos directos de las funciones productivas. En México, el auge de este Modelo fue coincidente con la llamada época

del desarrollo estabilizador, caracterizada por una intensa intervención del estado en las actividades económicas del país.

## VIII.2.2 MODELO INTERACTIVO

Se valora el conocimiento empírico y las prácticas de los agricultores, se reconoce que la innovación es un proceso interactivo, retroalimentado. La eficacia de la innovación depende de la red de actores (sistema de conocimiento agrícola); el productor tiene un rol activo.

Este Modelo surge como respuesta al fracaso del Modelo de Difusión de Innovaciones en la promoción del desarrollo rural; es coincidente, también con el surgimiento de innumerables Organizaciones No Gubernamentales (ONG), que empiezan a trabajar con pequeños productores minifundistas en varios países en desarrollo.

Entre otros aspectos el Modelo Interactivo se caracteriza por:

- La importancia del mercado como factor en la definición de las tecnologías que han de incorporarse a los sistemas productivos.
- La incorporación de nuevas tecnologías ocurre de manera progresiva, en función de los resultados logrados en las unidades productivas; es una decisión de varios actores, incluidos los propios productores, quienes van ajustando sus formas de producción en la medida que se logran los resultados esperados.
- Participan activamente productores, transferencistas e investigadores; además de otros actores involucrados en los procesos de desarrollo rural.
- Se consideran los problemas de los productores, se realizan diagnósticos socioeconómicos y técnico-productivos, a partir de los cuales se proponen las innovaciones tecnológicas más adecuadas que han de incorporarse.
- Inicia la participación de metodologías generadas a partir de las ciencias sociales, no sólo en el estudio de las condiciones del productor y sus familias, sino del entorno sociocultural en el que viven.
- Inicia el estudio de redes de innovación y proyectos de promoción orientados al mercado.
- Adquiere primordial importancia el desarrollo de capacidades en los productores, y se visualiza al extensionista como un agente promotor del

cambio; las funciones asignadas son principalmente de capacitación y visitas técnicas.

- De igual manera, cobra importancia el fortalecimiento de las organizaciones de productores y la identificación de liderazgos, a través de los cuales enfocar el trabajo orientado a la incorporación de innovaciones.
- En el nivel de la investigación se sigue un enfoque de experimentación- adaptación, considerando las condiciones particulares de las regiones, comunidades y tipo de productores a los que se orientan las tecnologías.

Este Modelo prevaleció, con distintos matices, en la mayoría de los enfoques utilizados para la transferencia de tecnología en los distintos países hasta fines del siglo pasado.

## VIII.2.3 MODELO REFLEXIVO

Este Modelo aún está en plena construcción, toma varias partes del modelo anterior. Los efectos negativos de la aplicación de innovaciones son puestos en debate; surgen los temas de calidad, desarrollo sostenible, cambio climático, seguridad alimentaria, cambia la organización de la producción y del conocimiento. Se incluyen las nuevas ciencias y tecnologías (nano-genómica, robótica, cibernética, etc.). El modelo aún no está consolidado.

El modelo reflexivo concibe a la innovación como una experimentación colectiva, en donde interactúan múltiples actores sectoriales y otros estamentos de la sociedad. Se trata de co-construir las referencias técnicas, tomando en cuenta las incertidumbres y el seguimiento de los efectos no intencionales de las innovaciones promovidas por los sistemas de Asistencia Técnica (AT).

La investigación acción participativa, así como los enfoques agroecológicos, la búsqueda de la sostenibilidad ambiental y social, son los ejes sobre los que giran la participación de los diversos actores involucrados. La sola transferencia de tecnología ya no es más el eje sobre el que se sustentan las acciones orientadas al desarrollo rural integral.

En los siguientes apartados, se intentará realizar un recuento histórico de cómo han sido aplicados estos Modelos en el desarrollo de la ganadería bovina tropical en México.

## VIII.3 EXPERIENCIAS EN AMÉRICA LATINA

A partir de la década de los 40's las actividades de transferencia de tecnología de las estaciones experimentales de los países latinoamericanos, se realizaban a través de visitas de los agricultores y demostraciones de resultados; en el tiempo, se fueron especializando dentro de los esquemas institucionales de los organismos de investigación, dando origen a lo que posteriormente se consolidó como extensión agropecuaria.

En este entonces, el extensionista era un mensajero de la tecnología y su tarea principal era comunicarla al productor para que éste la asimilara y aplicara. Las estrategias de transferencia de tecnología se basaban en el método de comunicación, como reuniones, días de campo, demostraciones de resultados, cartas circulares y visitas finca a finca. Posteriormente el extensionista se fue comprometiendo más con las condiciones sociales del productor, su compromiso le llevó a prestarle ayuda en otros aspectos que se relacionaban con la familia y el crédito. A partir de los setentas, la actividad de transferencia de tecnología se convirtió en un programa de desarrollo social, con líneas de acción en mejoramiento del hogar rural, economía campesina, trabajo de jóvenes y amas de casa, huertas escolares y desarrollo comunal. Fue adquiriendo cada vez más importancia el trabajo en grupo, pasando de "enseñar a hacer" a la de "aprender haciendo", la comunicación cara a cara, las ayudas audiovisuales, comunicación educativa, medios masivos y trabajo con líderes rurales.

**Costa Rica:** La participación pública y privada en transferencia de tecnología para el sector agropecuario de Costa Rica se ha venido desarrollando a partir de 1948, se inició con el programa Punto IV de los Estados Unidos, que desarrolló el programa conocido como STICA (Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola), con el enfoque de comunicación, asistencia técnica, educación al productor y crédito supervisado. A partir de 1980, se instala el sistema de Capacitación y Vistas (CyV), que brinda asistencia individual, identificando individuos que sirven de enlace con grupos de productores similares a él. La capacitación del extensionista se hace cada dos semanas y las vistas al productor se programan también con regularidad. En Costa Rica funciona actualmente un modelo dirigido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería con un enfoque de extensión participativa que promueve cambios de actitud permanente y progresiva en los productores, sus familias y sus organizaciones,

orientados hacia un intenso protagonismo en su propio desarrollo. Busca soluciones integrales en todos los niveles productivos de la cadena agro-productiva y facilita la prestación de los servicios agropecuarios por medio de la estrategia del Centro Agrícola Básico (CAB) y fomenta la generación y transferencia de tecnologías apropiadas a los sistemas agro productivos de los pequeños agricultores.

**El Salvador:** Con el Plan Anual de Operaciones de 1982, el ISCATT (instituto Salvadoreño de Capacitación y Transferencia de Tecnología), se diseña una nueva estrategia orientada a favorecer a los profesionales técnicos, población rural, se concibe la capacitación como una modalidad educativa no escolarizada, concientizadora de la realidad y favorecedora para la adquisición de nuevos conocimientos, habilidades y destrezas, orientando la asistencia técnica en forma individual y a grupos organizados, a través de equipos técnicos interdisciplinarios, con apoyo en los medios de comunicación masiva. Se instala también el programa de CyV en el desarrollo ganadero del País.

**Guatemala:** El sector oficial institucional, ha desarrollado un modelo que vincula la investigación con métodos de extensión, comunicación y asistencia técnica ligados al crédito, en el ICTA (organismo de investigación) se realizan diagnósticos regionales sobre aspectos técnicos y socioeconómicos de la producción y conjuntamente con la Dirección de Enseñanza y Capacitación (DIGSA), se capacita a los productores en la tecnología desarrollada y recomendada por el ICTA, quien además, realiza investigación en sus centros experimentales, valida los resultados en ensayos en fincas de productores y luego evalúa la tecnología en parcelas de prueba. La transferencia masiva a los productores se realiza por DIGSA a través de un programa de asistencia técnica de seis fases: motivación, formación, promoción, seguimiento, apoyo y control.

**Honduras:** No cuenta con un plan definido de transferencia de tecnología, lo más cercano lo constituye una estrategia de comunicación de la SNR (Sistema Nacional de Radio) a través del programa "El Consejero Agropecuario"; sin embargo, no está enlazada con las políticas, planes y programas de desarrollo agropecuario nacional. La oficina de relaciones públicas, empezó a funcionar en 1982, ésta se ocupa de mantener las relaciones e la prensa nacional, informando de los principales acontecimientos técnicos y administrativos de las instituciones, sin medir el impacto en las actividades de los productores agropecuarios del país.

**Nicaragua:** La estrategia de transferencia de tecnología agropecuaria, se distingue por trabajar con productores asociados a cooperativas y marginalmente con productores individuales, con apoyo parcial de medios masivos de comunicación. El énfasis es el componente educativo para la formación de agentes intermediarios de producción o de cambio y hacia los propios productores. Por lo anterior, a nivel de productor, la fuente principal de conocimiento, siguen siendo los asistentes técnicos del crédito bancario, sus propios amigos y comercializadores agropecuarios.

**Panamá:** El enfoque de la transferencia de tecnología, ha sido la extensión rural, hasta finales de los 70, los servicios de extensión se orientaron a educar al productor para la adopción de “paquete tecnológicos” a través de los métodos tradicionales de las demostraciones, días de campo, organización de los jóvenes campesinos en los clubes 4-S, trabajo de la mujer campesina y promoción de la organización de los productores. A partir de los 80’s, la estrategia de transferencia de tecnología ha adquirido mayor relevancia mediante la vinculación con la investigación y programas de crédito.

**Brasil:** Los brasileños tomaron experiencias exitosas del modelo agricultor líder de China, se basa en el uso de líderes para extender la tecnología a otros agricultores; también utiliza experiencias del modelo de entrenamiento intensivo de agricultores líderes de Filipinas e Indonesia, el cual se basa en un fuerte entrenamiento de los agricultores en escuelas de campo; además utiliza la dinámica de trabajo del modelo de formación de grupos de discusión de Australia; también utiliza el modelo de programa de visitas de África y Bangladesh, el cual le permite utilizar un estricto programa de actividades, y por último, involucra a los extensionistas siguiendo el modelo de extensión de Estados Unidos de Norteamérica (Land Grant College) que involucra a las Universidades, con un fuerte vínculo entre investigación y extensión con la utilización de especialistas en extensión.

**Chile:** Se menciona al modelo INDAP como nacional en Chile, con enfoques ascendente-descendente y que reconoce la heterogeneidad rural a partir de la tipología de productores. El Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) cuenta con una tipología de productores recabada en más de 20 años. Con base en ella, ha desarrollado modalidades de servicios por tipos de productor: servicio de asesoría local, servicio de asesoría especializada, servicio de asesoría a proyectos y servicio de desarrollo local a comunidades pobres rurales. También en Chile existe el Modelo de Centros de Gestión Empresarial (CGE), que

proporcionan servicios como planificación, control de gestión empresarial, información de mercado y asesoría comercial, contabilidad, auditoría tributaria, capacitación y asesoría organizacional. Existen 24 CGE, especializados en pequeña agricultura y en servicios para medianos productores, operados y financiados parcialmente por organismos públicos y privados de interés público, cuyos aportes decrecen en el tiempo, mientras aumentan los de los productores. Por su parte, en la República de Chile, el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), aplica el Modelo de Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT) con dimensión local, regional y nacional. Maneja unos enfoques lineales descendentes y ascendentes, además de promover la transferencia horizontal entre los productores.

**Venezuela:** El modelo venezolano se ubica dentro del ámbito local y regional, con un enfoque lineal vertical ascendente, que promueve la investigación y acción participativa. Los municipios facilitan y promueven que la comunidad participe en la concepción, preparación y ejecución de los programas de desarrollo, principalmente con sus medios, sin paternalismo. El modelo parte de un diagnóstico generado en talleres participativos con la comunidad, seguido de un plan anual de trabajo para abordar los problemas identificados y el diseño de las estrategias para enfrentarlos, el tipo de tecnología requerida y el equipo técnico para aplicarla. Se propone un cofinanciamiento: productor, municipio, gobierno estatal y gobierno federal, variando a través de seis años en porcentajes de pago.

**Bolivia:** El SIBTA es un esquema público-privado, donde el servicio identifica y desarrolla oferta por cadenas agro-productivas, que fueron ampliamente consultadas (diálogos nacionales). Adicionalmente, sigue una diferenciación geográfica, según la alta complejidad ambiental de Bolivia. Funcionalmente se organiza en cuatro fundaciones mixtas que manejan dinero público en respuesta a la variabilidad geográfica y opera en un esquema de alta descentralización política-administrativa que adoptó el país, con fuerte participación del gobierno y las sociedades locales.

**Argentina:** Uno de los programas con mayor impacto nacional e internacional lo constituye la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA). Utiliza el modelo de grupos de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (CREA) como organización de productores para transferir tecnología, producir y comercializar productos agrícolas y pecuarios. La AACREA es una asociación civil argentina que integra a los grupos

CREA. Fue fundada en 1960, sobre un proyecto del arquitecto Pablo Hary en 1957. Son grupos de trabajo formados por productores agropecuarios para fomentar el desarrollo tecnológico de la producción y coordinar más eficientemente la tarea productiva. El CREA, es un modelo que combina varios enfoques y características de dirección; sus enfoques son lineal descendente de carácter oficial y privado empresarial; combinado con el enfoque lineal ascendente basado en la demanda del mercado, y con una participación fuerte de los productores en la toma de decisiones. Es un modelo que se aplica en el ámbito local, nacional e internacional. Los grupos CREA están formados de 10 a 18 productores de una misma región. Contratan a un asesor técnico particular especializado para proporcionar soluciones específicas a la problemática local, con base en las experiencias de los productores.

## VIII.4 APLICACIONES DE LOS MODELOS: EXPERIENCIAS EN MÉXICO

### VIII.4.1 MODELO LINEAL

En la década de 1920, el gobierno mexicano a través de 32 extensionistas, considerados como “Agrónomos Regionales”, desempeñó funciones de capacitación. Los extensionistas recorrían en ferrocarril a algunas regiones del país, efectuando demostraciones y exposiciones sobre las nuevas tecnologías e insumos que servían para incrementar la producción.

El gobierno de Adolfo Ruiz Cortines (1952 a 1958) influenciado por las políticas agrarias de los Estados Unidos de América (EUA), y argumentando que existían grandes diferencias productivas entre los ganaderos de las distintas regiones del país, y que estas diferencias se debían a que los ganaderos, de mediana y pequeña escala no aplicaban tecnología, adoptó el modelo de Desarrollo Rural denominado “Desarrollo Comunitario”, promoviéndolo a través del sistema de Extensión oficial, y aplicando la teoría de Difusión de innovaciones, donde los extensionistas llevaran información de las nuevas tecnologías que debían ser adoptadas por los productores para producir más, y ganar más.

En Uruguay, en 1967, se llevó a cabo la reunión de la Cumbre de la Américas, y en la declaración, o carta de Punta del Este, consensuada por los países participantes, en el Capítulo IV, “Modernización de la vida rural y aumento de la productividad agropecuaria”, principalmente de alimentos, se estableció que con el objeto de promover la

elevación de los niveles de vida de los campesinos y agricultores, y del mejoramiento de las condiciones de la población rural latinoamericana, y su plena participación en la vida económica y social, era necesario dar un mayor dinamismo a la agricultura de América Latina, basándose en programas integrales de modernización, de colonización y de reforma agraria.

Como resultado de la reunión de la Cumbre de las Américas, en ese tiempo, las instituciones oficiales de investigación (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas –INIA-, el Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias -INIP-, y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales -INIF-), con apoyo económico extranjero, emularon el esquema de los EUA, con el objetivo de generar más tecnología (bajo el paradigma de la “Revolución Verde”), y se dedicaron a elaborar Paquetes Tecnológicos, y destinarlos al sistema de Extensión oficial, para que a través de los extensionistas hacer llegar las nuevas tecnologías a los campesinos y agricultores, en forma de “recetas”. Junto con el papel difusor de los extensionistas, además, se realizaron campañas de promoción de técnicas y tecnologías por medio de folletos, y medios masivos de comunicación. Se continuó utilizando la teoría de Difusión de Innovaciones.

Para que lo anterior surtiera efecto, se continuó con las actividades de alfabetización, que, en teoría, repercutirían en el adecuado desarrollo del sector rural. Para esto, se utilizó la “Educación Funcional”, que se originó en la década de 1960 en los EUA. La educación de los adultos se consideró como un elemento del proceso de industrialización y modernización agrícola, donde el productor alfabetizado podría entender, sin dificultad, los beneficios de la adopción de tecnología. Conceptualmente se siguió apoyando en las técnicas de comunicación desarrolladas por los EUA para la difusión de las innovaciones producidas por la Revolución Verde, que fue fuertemente impulsado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

El plan “La Chontalpa”, en sus inicios fue concebido como un programa de desarrollo agrícola (inicio de los 70s del siglo XX), donde el gobierno consideró importante el papel que deberían de jugar los productores en el proceso productivo, proponiendo esquemas no verticales en la toma de decisiones de las actividades del campo, y su propuesta de intervención se basó en la teoría de “Educación Popular”, pero debido a que los préstamos y que las nuevas tecnologías nunca lograron los objetivos de aumentar la producción, de hacerla rentable, y de satisfacer la demanda local de alimentos, cambió

sus objetivos iniciales, orientándolos hacia la producción de cacao, a la expansión de la ganadería (producción de leche y de carne), y a la formación de agroindustrias, dejando de lado la teoría de Educación Popular, y estableciendo y aplicando la teoría de difusión de innovaciones, y en la de “Demostración de resultados en explotaciones”, que consideraba que todos los productores deberían de sumarse al progreso tecnológico, y que para ello bastaba con que vieran lo que se consigue aplicando la tecnología generada. En México algunas ONG iniciaron trabajos con la teoría de la Educación Popular en ciertas zonas marginales, pero siendo intervenciones muy aisladas y sin evidencia de impactos por el uso de tecnología.

En 1975 el gobierno mexicano diseñó el Plan Nacional Hidráulico, iniciando actividades del Programa de Desarrollo Rural Integrado para el Trópico Húmedo (PRODERITH), el que contó con el apoyo financiero del Banco Mundial y de la FAO. En los aspectos de comunicación para el desarrollo, creó un sistema de comunicación rural para, así, lograr el consenso de las comunidades locales sobre las acciones de desarrollo que se debían de realizar. La metodología pretendía uniformizar y agilizar las operaciones crediticias, induciendo el uso de “mejores tecnologías” para la producción, mediante la asistencia técnica y el crédito supervisado, auspiciando el fomento de la investigación científica y tecnológica en el sector rural.

Las acciones y el resultado del PRODERITH en su tiempo se consideraron un éxito, sin embargo terminaron los apoyos (económicos, de asesoría, de asistencia técnica, etc.), y se esfumaron los logros, es decir el programa no fue adoptado por los usuarios. Lo anterior probablemente se debió a que los coordinadores del programa indujeron a los usuarios para que percibieran que lo que se iba a hacer era una necesidad sentida, cosa que no fue cierta.

La banca oficial, como el Banco Nacional de Crédito Rural (BANRURAL), desde 1976 y hasta 1988 prestó servicios complementarios al crédito, con el propósito de garantizar su mejor utilización entre los beneficiarios. Se estableció que los productores deberían de contar con el servicio de asistencia técnica, utilizando tecnología de punta, esperando mejorar la producción y productividad. Los extensionistas, formados bajo el paradigma de la Revolución Verde, siempre hicieron notar el atraso tecnológico en las unidades de producción, y que la promoción de uso de tecnología no tenía impacto, ya que no era adoptada por los productores. Utilizaron siempre la teoría de Difusión de Innovaciones.

A inicios de los 80s del siglo XX, se consideró un nuevo paradigma económico: competitividad y apertura al exterior, con una nueva visión del desarrollo, del papel del estado y del sector privado. En ese entonces se trabajó en la planificación por proyecto (ya no eran los paquetes tecnológicos), dándose un proceso de seguimiento y evaluación de los mismos. Cabe destacar que se inició un proceso de privatización y reorientación de la producción, de acuerdo a las condiciones del mercado internacional, para lo que, entre otras medidas, se comenzaron a eliminar las antiguas barreras comerciales de protección al sector agropecuario, dando inicio a la desaparición del sistema oficial de Extensión.

Entre 1982 y 1988 se generaron los Distritos de Desarrollo Rural (DDR), a donde se asignaron a los extensionistas, siendo las Delegaciones Estatales de la Secretaría de Agricultura las encargadas de administrar a los extensionistas y a los servicios de extensión en los distintos estados de la República Mexicana. En este periodo continuaron los programas de extensión multifunción. Los DDR cumplían con el servicio de extensión, promoviendo tecnología pecuaria generada principalmente por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), utilizando la teoría de difusión de innovaciones.

Entre 1988 y 1990 las políticas de gobierno fomentaron la constitución de despachos y de grupos de consultores independientes, bajo un esquema de pago subsidiado, y en algunos casos el productor en forma impuesta a través del crédito, debía de absorber paulatinamente el costo de la asistencia técnica. Los despachos y los asesores privados que ya venían efectuando desde muchos años antes las funciones de asesoría y asistencia técnica, continuaron trabajando con agricultores y ganaderos de elevada escala, ofreciéndoles determinadas tecnologías que provenían de los paquetes tecnológicos. Por otra parte, los programas de gobierno propiciaron que los productores de baja escala, contrataran, en forma gratuita, a extensionistas particulares que habían sido capacitados y avalados por el gobierno federal y por los estatales.

Las ONG en general, trabajaron con agricultores, campesinos e indígenas de baja escala, con un enfoque integral dirigido a “promover la autogestión de los campesinos y agricultores organizados para superar sus condiciones de pobreza”, donde el objetivo de las ONG se definió como de promoción, e incluía aspectos sociales y productivos.

## VIII.4.2 MODELO INTERACTIVO

Desde 1990, y hasta 1995, y como parte del adelgazamiento institucional, se llevó a cabo la descentralización del personal de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), de tal suerte que intendentes, choferes, secretarías, personal administrativo, y otro tipo de personal, fueron radicados en los DDR. Los jefes de distrito, como contaban con pocos extensionistas, decidieron capacitar a este tipo de personal para que “laboraran” como “extensionistas”, y como consecuencia de eso, el tipo de asistencia técnica que brindaban fue (en general) de baja calidad y a tiempo parcial. El INIFAP participó en la capacitación de dicho personal, promoviendo Paquetes Tecnológicos. Los extensionistas continuaron utilizando la teoría de Difusión de Innovaciones.

La asistencia técnica oficial (gratuita), se dio mediante el Proyecto de Investigación y Extensión Agropecuario y Forestal (PIEX), que atendía a los productores de bajo potencial productivo en zonas temporales y del trópico húmedo, con el propósito de influir en un cambio tecnológico de cultivos y animales, que permitiría a los productores elevar sus condiciones de vida y articularse de una manera más eficiente a la economía de mercado, algo que a la larga no resultó cierto.

El esquema de asistencia técnica “privada” no sólo era obligatorio, sino que además fue selectivo, ya que sólo recibían asistencia técnica los campesinos y agricultores que utilizaran crédito (alrededor del 20% del total). La Banca de segundo piso, como las de los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), y el BANRURAL, otorgaban créditos agropecuarios y forestales exclusivamente a los productores que contrataran el servicio correspondiente.

A partir de 1993, el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) financió acciones de asistencia técnica, reembolsando a los productores el 80% del pago del extensionista particular, quien era contratado por los propios productores. La idea era que en cinco años el productor cubriera una proporción cada vez mayor del servicio de asistencia técnica. Sin embargo, se presentaron complicaciones administrativas en el cobro por parte de los técnicos que prestaban el servicio, y la implementación de tecnologías no fue la deseada, además de que los préstamos que otorgaba la banca oficial rara vez fueron pagados.

Siguiendo con los ajustes económicos y estructurales, y debido, entre otras cosas, a la reducción del número de extensionistas oficiales,

en 1996, la SAGAR pasó a ser solamente la institución normativa de los programas existentes para apoyo del campo mexicano. La operación de los programas se transfirió a los gobiernos de los Estados, mediante la formación de Comisiones de Desarrollo Rural. Estas Comisiones las conformaban los representantes del gobierno estatal, y del gobierno federal: Instituto Nacional para el Desarrollo de Capacidades del Sector Rural (INCA Rural), INIFAP, FIRCO y la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA).

Las políticas neoliberales restringieron (liberaron) el papel del Estado en el campo, la participación social cobró mayor importancia y se expresaron nuevas estrategias, dándose un énfasis muy marcado en el desarrollo del conocimiento, habilidades y actitudes de los distintos actores sociales del ámbito rural, con una nueva visión con respecto a los períodos anteriores, donde el Estado ya no era totalizador, ni era el actor principal. Para lograr los objetivos, en 1996 la política agropecuaria a través de la “Alianza para el Campo”, puso un especial énfasis en “incrementar la productividad” de los distintos subsectores del agro, y uno de los instrumentos en que se apoyó fue en facilitar a los productores el acceso a las nuevas tecnologías disponibles, a través del subsidio del servicio de asistencia técnica. En ese entonces se estableció el Sistema Nacional de Capacitación y Extensión (SINDER) y el Programa Elemental de Asistencia Técnica (PEAT).

El SINDER contó con varios subprogramas: fortalecimiento y cambio tecnológico de la caficultura; fortalecimiento y cambio tecnológico en la producción de hule; fortalecimiento y cambio tecnológico en la producción de oleaginosas; producción de leche con ganado de doble propósito; y desarrollo de los sistemas de producción de granos básicos.

El SINDER, a través de la Vocalía Ejecutiva de Capacitación y Extensión contrataba a coordinadores de zona, despachos y extensionistas “especialistas” para llevar a cabo sus subprogramas, pero “eran los productores quienes contrataban” directamente a los extensionistas, subsidiados por el gobierno federal. Específicamente el quehacer de los extensionistas fue promover el uso eficiente de las tecnologías innovadoras, con la finalidad de incrementar la producción, productividad y competitividad de las unidades de producción agropecuaria.

Para materializar tales acciones se estableció el Sistema Nacional de Capacitación y Extensión Rural Integral, el cual tenía su especificidad en cada

uno de los estados de la República, de acuerdo a los sistemas especie o producto estratégicos para las mismas entidades. Así, el INCA Rural, como institución oficial, se encargó de la capacitación de los distintos actores sociales del ámbito rural (directivos, extensionistas, campesinos y agricultores).

Se destinaban apoyos para la contratación de extensionistas, y para la realización de acciones como: talleres por alternancia a técnicos y productores, módulos y/o parcelas de difusión y demostración, asistencia técnica, asesoría y consultoría especializada, giras y grupos de intercambio y desarrollo tecnológico, elaboración de estudios y proyectos productivos, entre otros. A estas acciones en forma genérica se les denomina como cursos. El SINDER incorporaba a técnicos al campo, con un radio de atención no mayor de cinco comunidades para cada uno de ellos.

En el papel los objetivos, acciones y estrategias del SINDER fueron bien planteados, sin embargo nunca se lograron las metas propuestas. En la mayoría de los casos se trabajó con líderes, donde “se hacía de todo, proveyéndoles de todo”, para obtener resultados satisfactorios, pero una vez que se retiraban los técnicos, se perdía la continuidad de las acciones, y los campesinos y agricultores volvían a sus técnicas anteriores.

La otra vertiente del SINDER, el PEAT, tuvo como objetivo impulsar la aplicación de tecnologías básicas, desarrolladas principalmente por el INIFAP, sobre el manejo básico de distintas especies domésticas, acordes a las condiciones de potencial productivo de las zonas dedicadas a la producción agropecuaria. Se daba el apoyo a los productores elegibles para que contrataran y pagaran el servicio de asistencia técnica privada, integral, intensiva y concertada, en todas las fases del proceso productivo, desde la planeación para la producción, ejecución de acciones tecnológicas apropiadas, la conservación del medio físico, adquisición y aplicación de insumos tecnológicos, cosecha, almacenaje y comercialización de productos, y fomento a la organización económica de base.

El PEAT Se consideró como un programa de bajo costo, ya que los técnicos no eran contratados directamente, ni de manera permanente por el Estado, sino por los grupos de productores o sus representantes. Además del apoyo directo a los productores para que contrataran y pagaran los servicios de “sus técnicos”, en el programa, se incluían apoyos indirectos para divulgación, la capacitación de los técnicos, la evaluación externa del programa, además de recursos económicos

por parcela demostrativa, para que el extensionista desarrollara actividades de difusión de tecnología en la misma: cada extensionista debería de establecer por lo menos una parcela.

Las acciones del PEAT se basaban en la teoría de “capacitación y visitas” desarrollada en 1977, que primero fue promovida por el Banco Mundial para implementarse en países de África, y posteriormente la FAO propuso su implementación en América Latina. Se consideró como un método de comunicación persuasiva que no influyó en el cambio tecnológico deseado.

Bajo el paradigma del “Desarrollo Rural Sustentable (DRS)”, en 1996, la Alianza para el Campo estableció los programas de Fomento Ganadero y de Desarrollo Rural. Los apoyos que otorgan estos programas consisten en subsidios que complementan las inversiones de los productores, y grupos prioritarios (hasta el 50 % del total de la inversión), así, fueron pensados para que los productores accedieran a los apoyos económicos con el objeto de desarrollar sus actividades en el campo (infraestructura, equipos, medicinas, agroquímicos, etc.), incluido el pago del servicio de asistencia técnica.

Los programas de fomento ganadero fueron: Lechero, Establecimiento de Praderas, Ganado Mejor, Avícola, y Apícola; y en 1998 surgió el de Desarrollo de Proyectos Agropecuarios Integrales (DPAI), los cuales se orientaron a apoyar la capitalización de los ganaderos, promoviendo el subsidio a los distintos programas, incluido el pago de asistencia técnica, con la finalidad de acelerar la adopción de tecnología a nivel de productor (en lo relativo a alimentación, mejoramiento genético y sanidad). El fin de estos programas consistió en elevar la productividad, tanto por unidad de superficie, como por unidad animal. También promovió la integración y desarrollo de cuencas de producción, áreas compactas constituidas por grupos en condiciones similares de clima, nivel tecnológico y sistema especie-producto.

A partir del año 1996, el INIFAP inició oficialmente acciones de validación y transferencia de tecnologías con ganaderos, aplicando el Modelo Grupo Ganadero para la Validación y Transferencia de Tecnologías (Modelo GGAVATT). En dicha propuesta metodológica los Prestadores de Servicios Profesionales (PSP) intervienen para propiciar la adopción de tecnología pecuaria a través del proceso de validación y transferencia en grupos organizados, con la finalidad de incrementar la producción y productividad de los ranchos; así

como mejorar el nivel de vida de los productores y su familia, fomentando, además, la conservación y el mejoramiento de los recursos naturales.

Este modelo inició actividades en 1990, en el estado de Veracruz. En 1993 se implementó en Tabasco y Oaxaca, y para 1997 se contaba con 77 GGAVATTs. Cuando se consideró como método de transferencia de tecnologías en las Reglas de Operación (ROP) de la entonces SARH, para 2007 se contó con 1,050 GGAVATTs en todo México. Debido a que continuó siendo considerado en las ROP de la SAGARPA, hasta el año 2012 se continuó laborando como modelo oficial, generando información sobre componentes tecnológicos adoptados, y su repercusión en los principales indicadores técnicos, productivos y económicos.

En algunos estados de la República las Fundaciones Produce consideraron que el Modelo impactaba en mejorar la producción y productividad de los ganaderos, por lo que financiaron el pago de extensionistas, quienes debían establecer el método de trabajo con productores. Actualmente, y aunque el Modelo GGAVATT no se considera en las ROP de la SAGARPA, existen grupos en algunos estados como Sinaloa, Guanajuato, Campeche, Veracruz, etc.

El Modelo GGAVATT se basa en la teoría de Capacitación y visitas, complementada con la Investigación Acción Participativa (IAP), así como la teoría de “Demostración de resultados en explotaciones”.

En 1995, el Secretario de Agricultura del gobierno federal impulsó la creación de fundaciones estatales de apoyo a la investigación y extensión agropecuaria. Las Fundaciones fueron creadas para (a) obtener fondos adicionales para financiar la investigación; (b) permitir que las fundaciones tuvieran una visión estatal de las necesidades de los productores y de las prioridades de investigación, y (c) aumentar la flexibilidad del uso de fondos para investigación. Las Fundaciones Produce fueron una innovación institucional de gran importancia, contribuyendo al diseño de políticas sectoriales, científicas y de innovación para el campo, a la transformación de las instituciones públicas de investigación agropecuaria, y a abrir canales de comunicación entre funcionarios públicos y productores agropecuarios.

La Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce AC (COFUPRO) y las fundaciones tuvieron impactos importantes sobre el sistema público de investigación agropecuaria. Estos impactos se derivaron de la apertura de nuevos canales de interacción entre diferentes actores del sistema de innovación, en la participación en las estructuras directivas de varias organizaciones federales y estatales de investigación, en el apoyo a la transformación del INIFAP, en nuevos enfoques para la definición de políticas sectoriales y científicas, tecnológicas y de innovación para el campo y en el funcionamiento del fondo sectorial SAGARPA-CONACYT.

Una de las acciones de mayor impacto implementadas por COFUPRO fue la priorización de cadenas y la identificación de demandas de investigación en 2002 y 2003. Esta priorización tuvo impactos importantes derivados de (i) la apertura de múltiples canales de comunicación entre productores, investigadores y políticos, (ii) el uso que hicieron SAGARPA, los estados y CONACYT de la información generada y (iii) el uso que estos actores hacen de las actualizaciones de la información original.

### VIII.4.2.1 MODELO GGAVATT

Por ser un Modelo que originalmente surgió para la ganadería bovina tropical, en el estado de Veracruz, es pertinente describir con un poco de más detalle sus orígenes y evolución en México.

El modelo GGAVATT, es un mecanismo de validación y transferencia de tecnología, donde intervienen grupos de ganaderos organizados con fines de producción similares, en torno a un módulo de validación de donde se utiliza y adopta la tecnología generada en los campos experimentales (Figura 1), con el objeto de incrementar la producción y productividad animal.



Figura 1. El Modelo GGAVATT

El GGAVATT, es la organización de 10 a 15 productores, cuyos ranchos o granjas tienen características y propósitos de producción similares, los cuales, reciben asesoría técnica profesional, respaldada por instituciones de investigación. El grupo cuenta con un “Módulo de validación,” donde se demuestran las tecnologías propuestas para solucionar problemas específicos de la ganadería.

El grupo de productores, son una organización formal, con acta constitutiva mediante asamblea, donde quedan establecidos los compromisos de los tres componentes básicos que conforman el GGAVATT (Figura 2): productores, agentes de cambio y Centros de investigación. Juntos, establecen el programa de trabajo, acciones de la junta mensual, presentación de avances y resultados en la evaluación anual, acciones de capacitación-demostración, giras y encuentros para el intercambio de experiencias exitosas.

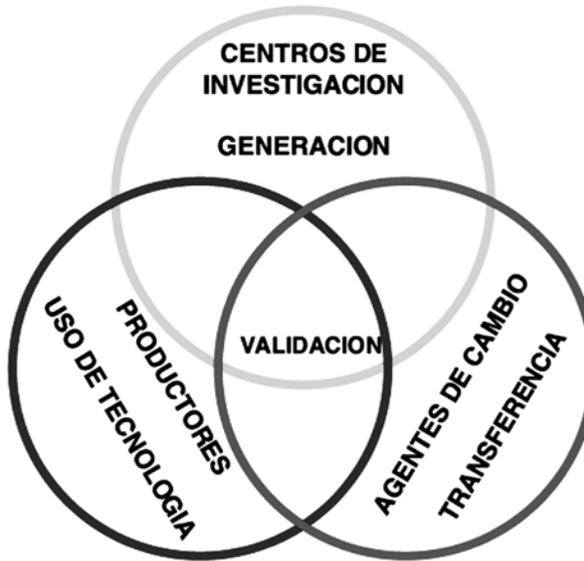


Figura 2. Componentes del GGAVATT

El modelo GGAVATT en México, tiene antecedentes históricos que se remontan a 1970, año en que se inició la validación de tecnología generada en el Campo Experimental “La Posta,” de Paso del Toro, Veracruz, perteneciente al entonces INIP (Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias), en el rancho “Bella Esperanza” de Tepetzintla, Ver.

En 1983, evolucionó a PROGATEP (Programa Ganadero Tepetzintla) con un grupo de 28 ganaderos, que obtuvieron resultados satisfactorios durante 1983-1989, lo cual propició la formación de otros cinco programas similares: Jamapa, Joachin, Tres Valles, Jilguero y Porcino Jarocho; sentando las bases para el nacimiento del GGAVATT. En 1989, se definió que el PROGATEP fuera denominado GGAVATT, con el argumento de que se trataba de un grupo ganadero que valida y transfiere tecnología.

De 1990 a 1996, se dio la etapa de validación del modelo en el estado de Veracruz, se desarrolló la metodología y se tuvo un reconocimiento regional de los resultados obtenidos en Veracruz, Tabasco y Oaxaca principalmente; se formó y consolidó un grupo directivo y operativo para facilitar el proceso. De igual forma, se inició la realización de encuentros estatales para el intercambio de experiencias entre los productores que integraban este Modelo.

A partir de 1996, se inicia la etapa de consolidación del modelo, partiendo de la sistematización de la información sobre la metodología a la capacitación a capacitadores, respaldo institucional con la formación del PRONAVAT (Programa Nacional de Validación y Transferencia de Tecnología) del INIFAP, se conforman y operan GGAVATT en todo los estados del País a través de proyectos estatales de validación y transferencia de tecnología pecuaria, financiados por la fundaciones produce locales.

En 2008, el GGAVATT obtiene el reconocimiento nacional por parte de la CGG (Coordinación General de Ganadería) de la SAGARPA, como el modelo de transferencia de tecnología a través de la UTEP (Unidad Técnica Especializada Pecuaria) del INIFAP, quien diseñó y estableció la estrategia en todo el país, brindó durante el periodo 2008–2103, el soporte tecnológico, el seguimiento y la capacitación a los Prestadores de Servicios Profesionales Pecuarios (PSP), contratados por los grupos de productores, asociados al Programa de Desarrollo de Capacidades, Innovación Tecnológica y Extensionismo Rural.

### VIII.4.3 MODELO REFLEXIVO

Los sistemas de investigación y transferencia de tecnología en el sector agroalimentario viven un proceso de cambio gradual hacia sistemas de innovación basados en procesos interactivos. Sus resultados dependen de las relaciones entre diferentes empresas, organizaciones y sectores, así como de comportamientos institucionales para atender la demanda de los productores y dar solución a los problemas de pobreza, baja competitividad y sustentabilidad amenazada.

Es necesario conformar una triada Universidad-Empresa-Estado; bajo este esquema, el Estado acompaña el comportamiento de las universidades y empresas dirigiendo las relaciones entre ellas, y puede asumirse que está influida por una visión estatista, centralista, socialista de la sociedad en que se asigna un rol preponderante al Estado. Esta versión del modelo se ha dado en llamar modelo de triple hélice.

Las instituciones de investigación en México, se encuentran en proceso de adecuación de sus programas de transferencia de tecnología, a las nuevas exigencias de la sociedad, tal es el caso del INIFAP, donde establece como objetivos prioritarios el de promover y fortalecer los procesos de validación y transferencia de tecnología para la innovación tecnológica que mejoren la competitividad, equidad y sustentabilidad de las cadenas agropecuarias y forestales; establecer alianzas, redes de innovación y desarrollo participativo; adecuar y desarrollar métodos, procesos y modelos de transferencia de tecnología y la evaluación de sus impactos.

También se sugiere la incorporación de conceptos para medir la competitividad tecnológica y sustentable de las unidades de producción rural, considerada como una metodología de intervención tecnológica con enfoque de competitividad (ITEC), cuyos indicadores puedan ser medibles en el tiempo y el espacio en diferentes sistemas de producción

pecuaria, tanto para productores en lo individual y como productores organizados en grupo.

Es imprescindible además, avanzar hacia modelos institucionales de complementación entre las instituciones públicas y privadas, y en donde la descentralización operativa y la participación organizada de los productores, incluyendo productores familiares y campesinos en la orientación de las demandas tecnológicas, se incorpore al esquema institucional de investigación para la agricultura.

En el año 2001 los Programas de Desarrollo Rural (SINDER y PEAT) se fusionaron en el Programa de Extensión y Servicios Profesionales (PESPRO), previa capacitación y selección de los extensionistas por el Programa de Capacitación y Extensión (PCE). El PESPRO modificó el servicio de asistencia técnica otorgada a los productores, enfocando su trabajo a atender a grupos organizados, y ya no comunidades completas. En el año 2002, el PESPRO se transformó, en el Programa de Desarrollo de Capacidades (PRODESCA). El pago de los extensionistas o PSP, del sector privado fue realizado a través de la Alianza.

En el año 2002 los programas de Desarrollo Rural prevalecientes fueron: Programa de Desarrollo de Capacidades en el Medio Rural (PRODESCA); Programa de Apoyo a los Proyectos de Inversión (PAPIR); y Programa de Fortalecimiento de Empresas y Organización Rural. El objetivo de estos programas consistió en elaborar proyectos productivos de desarrollo a nivel de grupos, orientados a la generación y apropiación del valor agregado en las actividades productivas de la población rural, y a fortalecer las cadenas productivas en las que se encuentran inmersas las unidades de producción. Se apoyó a grupos que contaran con al menos seis Unidades de Producción Rural (UPR) beneficiarias directas del apoyo como socios activos.

Los programas de Desarrollo Rural también incluían proyectos modulares que se realizaran a nivel de una UPR, y que se repetirían en forma similar con varios beneficiarios; en este sentido calificaban proyectos que incluyeran la mejora en el uso de los recursos naturales (agua, suelo), transferencia de tecnología y asistencia técnica, entre otros, por lo que presentan problemas de identificación, formulación, implementación y consolidación semejantes. El conjunto de UPR que tuvieran estos proyectos productivos modulares se consideraba como el grupo atendido por el PSP. Los grupos y organizaciones económicas debían de contar con representantes vigentes, designados mediante acta

de asamblea del grupo, y con nombramiento legal. El tipo de proyectos productivos de desarrollo a apoyar por ámbito de acción o área estratégica serían de desarrollo regional, a cadenas productivas, y a grupos prioritarios.

En el 2003 todos los apoyos orientados al sector pecuario se operaron como parte de un solo programa: Fomento Ganadero (FG), fusionando todos los componentes dirigidos al sector pecuario; el cual comprendió a su vez dos subprogramas: Desarrollo Ganadero y DPAI. En este mismo año, dentro del subprograma de Desarrollo Ganadero inició actividades el Programa de Estímulos a la Productividad Ganadera (PROGAN), programa de cobertura nacional, en el cual la población objetivo son todos los propietarios de bovinos, que se inscriban en el Padrón Ganadero Nacional (PGN), quedando excluidas las engordas, el repasto y el ganado estabulado, así como las superficies de las UPR que reciban apoyos del PROCAMPO y las UPR que carezcan de cerco para el control del ganado.

El objetivo general de este nuevo programa es incentivar la productividad de la ganadería extensiva con base en el mejoramiento de la producción forrajera de las tierras de pastoreo, derivado del mejoramiento de la cobertura vegetal y de la incorporación de prácticas tecnológicas que impacten en la rentabilidad de las UPR, así como establecer la identificación del ganado bovino de manera individual y permanente, para su control y rastreabilidad.

Con respecto a acciones de extensión, el DPAI fomentaba el desarrollo de las Unidades de Producción Pecuarias de manera sostenible, ofreciendo: apoyo a la integración y fortalecimiento de su organización; elaborar el diagnóstico inicial de las Unidades; elaborar programas de desarrollo para la gestión de apoyos provenientes de la Alianza y otros programas oficiales de apoyo o de instrumentos financieros; y dar asesoría y asistencia técnica en todas las etapas del proceso productivo, así como asesoría para el acopio y transformación de productos pecuarios. Con respecto a los ganaderos, se debían de integrar en grupos, y que a través de actividades de capacitación, asistencia técnica y transferencia de tecnología, llevaran a cabo proyectos de desarrollo de las Unidades de Producción.

La población objetivo del DPAI fueron ganaderos con más de 21 cabezas de ganado bovino, y como requisito, que se integraran en un grupo organizado; como es el caso de los GGAVATTs propuestos por el INIFAP. En los distintos estados de la República

Mexicana, el INIFAP dio el apoyo técnico al DPAI, la SAGARPA el apoyo normativo, y la Secretaría de Desarrollo Rural (SDR) o su equivalente en cada estado facilitaba la operación.

## VIII.5 LAS ACCIONES DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN LAS GANADERÍAS DE MÉXICO 2000-2015

No se identifica alguna estrategia específica para la transferencia de tecnología pecuaria en las regiones tropicales, sin embargo; el modelo GGAVATT nació y se desarrolló en la región tropical del estado de Veracruz, a partir del cual, se han generado diversas estrategias para hacer llegar el conocimiento y la tecnología a los productores ganaderos de diversas regiones y sistemas producto. Estrategias generadas e implementadas principalmente por el INIFAP, pero también por otras instituciones; algunas de ellas ya cumplieron su propósito, otras siguen operando y algunas de ellas se encuentran en etapa de consolidación.

### VIII.5.1 PROGRAMA NACIONAL PARA LA VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA (PRONAVATT) 1996-2003

En 1996, el INIFAP crea el Programa Nacional para la Validación y Transferencia de Tecnología (PRONAVATT), que tuvo como misión contribuir al mejoramiento continuo de la calidad de vida de la población rural, promoviendo el uso de tecnologías para la sustentabilidad de los procesos productivos, económicos, organizacionales y de capacidad de gestión de los productores pecuarios. Los objetivos centrales fueron: a) promover la transferencia de tecnología, productiva, económica (rentable), sostenible y equitativa del subsector pecuario del país; y b) contribuir al establecimiento de un sistema integral e integrado de validación y transferencia de tecnología pecuaria, de cobertura nacional, y en cada una de las entidades federativas del país.

La cobertura del programa fue nacional, donde participaron todos los estados del País, con al menos la constitución y operación de un GGAVATT, excepto el estado de México, donde no se contó con investigador enlace para el programa. Los principales logros durante el desarrollo de la estrategia fueron la capacitación de más de 1,900 agentes de cambio en el Modelo GGAVATT, conformando 42 Grupos para el soporte técnico, seguimiento y evaluación; un total de 1,098

GGAVATTs constituidos; realización de más de 60 Encuentros estatales y 10 nacionales para el intercambio de experiencias de los productores. Los índices de incorporación o uso de tecnología fueron de entre el 40 y 60%, con más de 2,500 acciones de validación y transferencia de tecnología.

**Casos exitosos:** Grupos que lograron avances reales de mejora de la organización, gestión, productividad y competitividad, tendiente a la sostenibilidad del grupo, como resultado de la participación del PSP y de la innovación tecnológica implementada en las Unidades de Producción Rural. Con base a la presentación de los avances y resultados de cada GGAVATT en el marco del encuentro estatal, se seleccionaron de uno a dos casos por Estado, para su presentación y publicación en las memorias del encuentro nacional, realizados en el marco de las Reuniones Nacionales de Investigación Pecuaria del INIFAP. En algunos estados se documentaron, mediante publicaciones de casos exitosos del modelo GGAVATT, en diferentes sistemas de producción pecuaria

### VIII.5.2 RED NACIONAL DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA DEL INIFAP (RENAVATT) 2004 – 2009

Sus principales líneas de acción: promover las tecnologías y los conocimientos. Promocionar la imagen institucional para reactivar el reposicionamiento del INIFAP en los diferentes foros de consulta, con los sistemas producto forestal, agrícola y pecuario, y con los actores de los tres órdenes de gobierno. Las principales líneas y acciones de la estrategia de transferencia de tecnología fueron: desarrollo y adecuación de modelos de transferencia participativos, evaluación de desempeño de gestión y operación, evaluación de adopción, impacto y modelos. A la par, el INIFAP continuó trabajando con el PRONAVATT, el cual contempló como parte de sus acciones estratégicas: Capacitación a agentes de cambio en el modelo GGAVATT, Red nacional de capacitadores de agentes de cambio y promover el sistema nacional de capacitación a agentes de cambio.

## VIII.5.3 MODELO DE MICROCUENCAS

Inició Chiapas desde el 2000 a la fecha, con un proyecto de transferencia de tecnología para la conservación de suelo y agua en los Distritos Tecnificados de la CONAGUA, con la presencia de los PSP la capacitación es permanente. En este esquema de transferencia el punto central es la participación de la población local (hombres, mujeres y jóvenes), quienes mediante diagnósticos participativos manifiestan sus problemas prioritarios de cualquier sector, y los técnicos de los distritos de desarrollo rural tecnificado son los gestores y promotores del esquema. El proceso es simple, se realiza la validación de componentes, y se acompañan con eventos de capacitación para promover el empoderamiento de la población rural que participa. Si alguna alternativa de solución a la problemática no está disponible en la región o en el sistema de investigación, se inician líneas de investigación para solventarlos. Se ha trabajado en Chiapas, Coahuila, Veracruz y Oaxaca. Los principales componentes transferidos son: barreras de muro vivo, piedra acomodada, enmiendas con cal, cultivos de cobertera, traspatio, cultivos en relevo, agostaderos, etc.

## VIII.5.4 MODELO GRUPOS GANADEROS PARA LA VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA (GGAVATT)

Método de trabajo en grupo para transferir tecnología, Con el propósito de mejorar el nivel de vida de los productores y sus familias, Utiliza criterios de sostenibilidad, de 10 a 15 productores del mismo sistema producto y de similar nivel tecnológico. Amigos con alto grado de interés y disposición para el trabajo en grupo y para la mejora de sus unidades de producción.

## VIII.5.5 UNIDAD TÉCNICA ESPECIALIZADA PECUARIA (UTE)

En 2008 la Coordinación General de Ganadería invita a INIFAP a participar en el Sistema Nacional de Centros de Evaluación en calidad de Unidad Técnica Especializada (UTE). Entidad de investigación o educación que por su experiencia y prestigio en una estrategia de desarrollo de amplia cobertura, es validada por la instancia correspondiente como responsable de la generación de tecnología y metodología, capacitación, soporte técnico y acreditación de los PSP que participan en la misma. Se diseña el Documento de la Estrategia: Proceso de capacitación y soporte técnico, Proceso de evaluación y supervisión, Programas Básicos de Trabajo por Especie Producto, Formatos de Cuestionario por Especie Producto para acopio de información básica.

La UTEP tuvo una cobertura nacional, sólo en los estados de Jalisco, Guerrero, Hidalgo y Yucatán, por diversas circunstancias, no se dieron las condiciones para que operara la estrategia. Durante la operación de la UTEP, se atendieron un promedio anual de 996 PSPP, quienes brindaron asistencia técnica y capacitación a 1,093 grupos de productores, con un impacto directo en 22,396 UPP (ranchos ganaderos) de diferentes sistemas de producción. En total, se capacitaron 1,035 PSPP en Metodología para la evaluación diagnóstica; 500 PSPP fueron actualizados técnicamente; se puso en marcha una página en Internet de la UTEP para el soporte técnico, donde se pusieron a disposición más de 600 tecnologías pecuarias, así como un sistema de información para captura y sistematización de los indicadores productivos, económicos y ambientales de los grupos.

**Materiales de formación y apoyo.** Los investigadores integrantes de la UTEP, junto con especialistas en diferentes áreas de la investigación pecuaria del INIFAP y otras instituciones colaboradoras, elaboraron manuales de capacitación sobre: Metodología para la Evaluación Diagnóstica Agropecuaria, Metodología del Modelo GGAVATT y Administración de Ranchos Ganaderos con Base en el Uso de Registros Técnicos y Económicos.

**Estrategia UTEP.** El documento generado por la UTEP, menciona que la primera acción y producto a generar por el PSPP es la elaboración y/o actualización del diagnóstico inicial y, con base en ello, la propuesta del programa de trabajo, individual y de grupo que habría de presentarse para consideración de los productores. La situación

planteada en estos documentos representa la línea base sobre la cual habrá de realizarse todo el proceso de capacitación, soporte técnico, supervisión y la evaluación del servicio. Con el fin de asegurar que esta fase considere o se realice de manera participativa, el Formador apoya al PSPP en la correcta aplicación de la entrevista, la integración de la información, la elaboración del diagnóstico inicial y el programa de trabajo. Además, este mismo documento, indica con precisión que será responsabilidad del PSP la captura de la información de la cédula aplicada para el diagnóstico inicial en el Sistema de Información de la UTEP (SI-UTE), el cual será el sistema de seguimiento a la estrategia.

**Capacitación y actualización.** Durante los ejercicios 2008 al 2010, la UTEP impartió 30 eventos de capacitación sobre el modelo GGAVATT, donde participaron un total de 749 PSPP, se realizaron 62 eventos de capacitación sobre evaluación diagnóstica con asistencia y participación de 1,719 PSPP, así como 49 eventos de capacitación de administración de ranchos pecuarios a un total de 1,227 PSPP. De igual forma se impartieron 24 talleres de actualización técnica a 581 PSPP y 563 acciones de Grupos de Agentes de Cambio, con asistencia de 4,970 PSPP.

## VIII.5.6 AGENCIAS PARA LA GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN (AGI)

El problema que aborda la gestión de la innovación es claro: con el fin de permanecer en el mercado, las empresas rurales y de cualquier otra índole requieren que su oferta y el modo en que es creada, permanezcan en un estado continuo de cambio y, para poder hacerlo se deben gestionar cinco elementos básicos: diagnóstico, focalización, capacitación, implementación y aprendizaje. Así, en primer término debe realizarse un diagnóstico de las unidades de producción, luego focalizar en los problemas más apremiantes, enseguida emprender acciones de capacitación (lo cual incluye un proceso reflexivo) para estar en condiciones de implantar las soluciones y así garantizar el aprendizaje.

La estrategia, indica que durante el ejercicio 2009, conformó y atendió un total de 60 AGI en 13 estados del País; Oaxaca y San Luis Potosí tuvieron mayor representación con 14 y 11 AGI respectivamente, en cuatro estados atendieron de 4 a 6 en promedio y el resto de los estados tuvieron de 2 a 1 agencias. Los sistemas producto atendidos, en su mayoría fueron de agricultura (agricultura protegida, palma de aceite, mezcal, café, cítricos, granos básicos, miel, acuicultura, agroindustriales, hule, cacao, vainilla y

mango), así como turismo y ganadería. Participaron un total de 7 formadores, 32 evaluadores, 4 soportes tecnológicos, 390 asesores y 25,000 productores. Como impacto económico reportan una relación utilidad/inversión promedio por agencia de 3.9, con variaciones de 1.8 (cacao Tabasco) a 6.6 (hule Oaxaca).

### VIII.5.7 CENTROS DE DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDTs - FIRA)

Asocia preferentemente el financiamiento a los sectores agroalimentarios y rurales del país, con procesos de transferencia de tecnología que permitan inducir el aprovechamiento sostenible de los recursos, su modernización, desarrollo, productividad y competitividad. Dicha transferencia de tecnología, se desarrolla a través de diversas actividades, tales como: validación, demostración, divulgación, capacitación, asesoría e información, y se lleva a cabo en cinco diferentes centros de desarrollo tecnológico (CDT), los cuales tienen como objetivo principal dinamizar el proceso de adopción de nuevas tecnologías, y mejores prácticas que permitan acelerar e incrementar la eficiencia del desarrollo de los sectores agroalimentario y rural del país. Son unidades de negocio, administrados bajo criterios empresariales para identificar, validar y demostrar tecnología, proporcionar capacitación y realizar diversas actividades de producción agropecuaria, de enseñanza e investigación, entre otras.

En 2008, FIRA implementó a través de sus cinco CDTs demostraciones de tecnologías, capacitación en procesos de producción, asesoría técnica e información especializada en diversas unidades de producción agropecuarias, con el objeto de mejorar las habilidades y competencias de pequeños y medianos productores. Los servicios de capacitación, transferencia de tecnología y consultoría, beneficiaron a 15,478 productores, lo cual representó un crecimiento de 21 % respecto a 2007. En 2008 se destinaron 421 millones de pesos para apoyar las acciones de capacitación, transferencia de tecnología, asistencia técnica y fortalecimiento empresarial, lo cual representó un incremento real de 37 % respecto a 2007. En el rubro de capacitación empresarial y transferencia de tecnología se tuvo un padrón de beneficiarios de 198,812 productores, en Servicios de Asistencia Técnica Integral (SATI) a 25,579 y a Fortalecimiento a empresas y organizaciones económicas 647 beneficiarios.

### VIII.5.8 GRUPO DE INTERCAMBIO TÉCNICO (GIT)

Este modelo de transferencia de tecnología se gestó en el año de 1981, y se implementó por la Secretaría de Agricultura de Recursos Hidráulicos de 1982 a 1996. Fue considerado como “un mecanismo que daba lugar al acercamiento racional, sistemático y cuantificable entre los técnicos y los ganaderos. Se partió del hecho de que se establecía que buena parte del proceso consistiría en trabajar con las personas, y no para las personas; hacer de la población rural los actores del drama y no los espectadores de acciones exteriores”. El extensionista oficial “sería el catalizador en las acciones que desarrollaban los habitantes del campo, en el esfuerzo cotidiano que realizan para transformar su realidad”.

Dentro de los objetivos del GIT destacaba que sería un servicio de Asistencia Técnica Integral, detectando las necesidades de los productores, estimulando el análisis y adopción de tecnologías productivas, mediante procesos de capacitación (a técnicos y ganaderos) y apoyo a la divulgación, y de esta manera propiciar el incremento de la producción y productividad pecuaria en los Distritos de Riego y Temporal.

Los objetivos, planeación y programación de actividades serían establecidos por los productores, apoyados por los técnicos. Se establecía que los componentes tecnológicos aplicados en los ranchos, con buenos resultados, deberían de ser adoptados por los ganaderos.

El método se basó en que el técnico aplicaba los calendarios de manejo generados en los Centros Experimentales del Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias (INIP). Para esto, el técnico establecía un rol de visitas a los ranchos de los ganaderos, para supervisar las acciones comprometidas en el plan de trabajo. En su visita se enteraba de la problemática, y dicha problemática la notificaba al jefe de unidad, o de Distrito, quienes elevaban la problemática al Seno de los Comités Técnico y Directivo del Distrito, donde se analizaban y definían soluciones requeridas, las que oportunamente debería conocer el productor.

Lo que se sabe es que los Jefes de Distrito asignaban a los técnicos con un cierto tipo de ganaderos, muy selectos, y no con la generalidad de los ganaderos. De acuerdo a la formación del técnico fueron las tecnologías que se consideraron importantes. El GIT se basó en la teoría de Capacitación y visitas, así como la teoría de “Demostración de resultados en explotaciones”.

### VIII.5.9 COORDINADORA NACIONAL DE LAS FUNDACIONES PRODUCE (COFUPRO)

El Sistema cuenta con organismos coordinadores como son CONACYT para la política de ciencia, tecnología e innovación; el Sistema Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología (SNITT) para coordinar la rama agropecuaria; y con la red de Fundaciones Produce a nivel nacional, para coordinar el proceso de gestión de la innovación en el sector agropecuario con fondos de la SAGARPA. La COFUPRO ha incrementado la pertinencia y relevancia de los proyectos al aplicar un enfoque de innovación centrado en la demanda de los productores y ha posicionado, con las Fundaciones Produce, una red nacional para la innovación tecnológica. En cuanto a las instituciones ejecutoras de los proyectos (universidades, centros de investigación, institutos, etcétera) es importante resaltar que no todas integran generación, difusión y gestión del conocimiento, lo cual exige de políticas, instituciones e instrumentos capaces de realizar dicha integración y de generar una mayor vinculación con el sector productivo. Por ello, es necesario institucionalizar mecanismos que permitan la interacción entre las instituciones ejecutoras y las organizaciones y empresas rurales.

### VIII.5.10 OTRAS ESTRATEGIAS PECUARIAS

De forma aislada, se han dado esfuerzos de transferencia de tecnología pecuaria, utilizando esquemas locales y muy focalizado a un determinado sistema de producción o segmento de la población rural, en la mayoría de los casos, desarticulados de los sistemas nacionales de extensionismo, así como de las instituciones de investigación y educación; pero con un cierto impacto a nivel regional.

Intervención tecnológica con enfoque de competitividad (ITEC), modelo que integra indicadores de competitividad para generar un programa de intervención tecnológica en

actividades del sector pecuario del país. Módulos de validación y demostración, en unidades de producción diversificada (UPD), generada en la región sur de Jalisco para ganaderos del sistema vaca-cría en terrenos de temporal y riego.

Modelo de consenso silvopastoril intensivo para la ganadería sostenible del trópico michoacano (SSPI), implementado en la región de tierra caliente del estado de Michoacán, para la ganadería del sistema vaca-cría y como componente principal la leguminosa *Leucaena*, asociada con pastos y árboles frutales bajo condiciones de riego.

Días del ganadero que se efectúan desde hace más de 30 años por el INIFAP, como estrategia tradicional para difundir los avances tecnológicos para la ganadería regional tropical. Esta actividad también la realizan otras instituciones de investigación y docencia, como la UNAM, a través de FMVZ-CEIEGT en la región de Martínez de la Torre, Veracruz.

Sistema Agrosilvopastoril Alternativo, implementado con los ganaderos organizados de Sinaloa donde se busca desde una perspectiva de sostenibilidad, equilibrar la alimentación animal con el uso de praderas y sorgo para ensilaje, conservar el recurso con árboles multipropósito y cultivos de uso múltiple, diversificar e incrementar la productividad y organizar particularmente a los productores.

## VIII.6 PERSPECTIVAS

Ya ha sido ampliamente documentado el hecho de que en el corto y mediano plazos el crecimiento de la población, los cambios en los niveles de ingreso y la demanda de alimentos diferenciados en calidad, para estratos de población específicos, plantearán retos muy difíciles de enfrentar para los diferentes sectores del ámbito rural (agrícola, pecuario y forestal) de todos los países del mundo.

Lo anterior aunado a la escasez y limitación de recursos naturales (suelo y agua), y a fenómenos derivados del cambio climático, tales como sequías prolongadas, inundaciones causadas por huracanes cada vez más intensos; plagas y enfermedades en los cultivos y animales, serán otros tantos retos que los distintos sectores del agro deberán enfrentar en un futuro no muy lejano; si no es que ya los están padeciendo.

Ante este panorama, ¿qué pueden o qué deben hacer los centros de investigación que tienen como objetivo el generar tecnologías y conocimientos para apoyar en la solución de muchos de los problemas que enfrentan los productores

agropecuarios? Los Centros de Investigación Agropecuaria lograrán un mayor impacto y mejor posicionamiento, siempre y cuando logren generar tecnologías e información útil para los sectores productivos, que les permitan enfrentar con éxito los retos que significan los nuevos escenarios económicos, sociales y naturales que conformarán la geografía del mundo.

Tales conocimientos y tecnologías deberán cumplir con criterios de sustentabilidad y competitividad, con un mínimo de insumos y requerimientos de recursos naturales (agua y suelo) cada vez más escasos. Además de lo anterior, los Centros de investigación deben generar alternativas tecnológicas para que los sectores del agro puedan producir alimentos inocuos, con acceso para estratos de población diferenciados por nivel socioeconómico y rango de edad, e incluso estratos específicos con requerimientos de alimentos más específicos, relacionados con aspectos de salud.

Adicionalmente, es claro que los Centros de Investigación enfrentan serios cuestionamientos sobre la utilidad y disponibilidad de los conocimientos para los productores rurales, habida cuenta que la mayoría de ellos dependen de los recursos públicos; de tal manera que deberán establecer mecanismos para lograr que dichos conocimientos y tecnologías sean accesibles y adecuados a las condiciones de una población rural muy diversa en condiciones de disponibilidad de recursos y características socioeconómicas.

Ante esa situación, la mayoría de los Centros de Investigación Agropecuaria en el ámbito internacional, enfocan sus esfuerzos y destinan recursos para la creación de áreas, departamentos o gerencias de apoyo al Servicio de Extensión y a actividades de Transferencia de Tecnología como un elemento fundamental para lograr impactos en la sociedad.

La Extensión y Asistencia Técnica (EyAT) agropecuaria y forestal, se concibe como el servicio proporcionado a los productores rurales, mayormente de pequeña escala como una forma de mejorar sus condiciones de vida y llevarles tecnologías (conocimientos) que sirvan no sólo para aumentar la productividad, sino que devengan en un motor del desarrollo y un medio para alcanzar la seguridad alimentaria, debiendo ser bajo el enfoque de sostenibilidad.

La EyAT es proporcionada por PSP, que operan bajo un esquema de trabajo de carácter privado; no obstante, en la práctica, son pagados con recursos públicos que se asignan en forma de subsidio a los

productores rurales. Contribuye a fomentar el uso y adopción de tecnologías y conocimientos mediante diversos modelos y estrategias de transferencia de tecnología agropecuaria y forestal, de manera que la eficiencia de los servicios depende en gran medida de la estrategia y/o modelo empleado.

Es evidente que se requiere mejorar los procesos de transferencia de tecnología a través del diseño y adecuación de nuevos modelos; ello demanda realizar investigación en procesos de transferencia y de conocer las demandas específicas de los PSP, productores, organizaciones de productores, agroindustria y de Instituciones y organizaciones públicas y privadas de apoyo y fomento al sector rural del país.

Los PSP que trabajan en EyAT, demandan de los centros de investigación, principalmente del INIFAP, diversos apoyos entre los que destacan:

- Soporte técnico
- Capacitación
- Modelos de transferencia
- Información técnica de apoyo al uso de tecnología (Folletos técnicos, demostrativos y para productores)
- Información de tecnologías y conocimientos
- Información sobre tecnologías validadas
- Módulos demostrativos
- Información de apoyo a la toma de decisiones sobre eventos climatológicos, potencial productivo, inocuidad, mercados, incidencia de enfermedades, entre otros
- Además de diversos servicios, entre los que destacan los análisis de laboratorio

En mayor o menor medida, la REDGATRO debe orientar sus esfuerzos a establecer acciones orientadas a satisfacer las demandas y requerimientos de información tecnológica y servicios demandados por las instancias públicas y privadas y por los profesionales que trabajan directamente con los productores rurales.

Se requiere dedicar esfuerzo a la vinculación con los actores del sector agropecuario, para captar las demandas de innovaciones tecnológicas y de conocimientos. La tecnología por sí misma será insuficiente si no es acompañada con un diagnóstico de necesidades del usuario final, y el desarrollo de capacidades de los actores que

la requieren. La REDGATRO puede aprovechar la infraestructura de cobertura nacional y el capital humano de sus investigadores agremiados, para llevar a cabo un programa de formación a formadores en las diferentes áreas de la ganadería bovina tropical, y con ello generar procesos de capacitación en el uso de innovaciones tecnológicas.

Lo anterior representa un enorme reto; en principio se necesita un cambio de visión respecto al enfoque de la investigación hacia la transferencia de tecnología y el extensionismo; no debe subestimarse la importancia de este tipo de investigación y debe dejar de considerarse como una “investigación de segundo nivel”; de hecho esto es lo que justifica la generación de investigación básica que en el mediano y largo plazos, podrá ser transferida a los usuarios finales. La transferencia de tecnología tiene la particularidad de crear vínculos fuertes entre la investigación básica y el usuario final y demás actores de un sistema nacional de innovación.

En el mismo sentido, no basta seguir con la escalada de producción científica empujada únicamente desde la oferta institucional, generando investigación e innovaciones que difícilmente llegan a los beneficiarios finales, entre otras cosas, por una falta de estrategias pertinentes de “extensión y transferencia de tecnología” para los distintos usuarios y regiones del país.

La REDGATRO puede y debe convertirse en la instancia que empuje la creación de un Programa Nacional de Transferencia de Tecnología para los productores de ganado bovino de las regiones tropicales de México, vinculado directamente con las instituciones financiadoras y con los usuarios finales. Para lograr esto se requiere revalorizar la transferencia de tecnología y consolidar sinergias con todas las instituciones del país, así como con actores nacionales e internacionales que favorezcan el desarrollo de estrategias, programas, modelos de transferencia de tecnología e instrumentos de amplia cobertura y alto impacto, en el mediano plazo.

## VIII.7 LITERATURA CONSULTADA

Aguilar BU, Amaro GR, Bueno DHM, Chagoya FJL, Koppel RET, Ortiz OGA, Pérez SJM, Rodríguez CHMA, Romero FMZ, Vázquez GR. Manual para la formación de capacitadores, Modelo GGAVATT. Publicación especial No. 36. Primera reimpression. SAGARPA-INIFAP-SDR Morelos. CIRCE. Campo Experimental Zacatepec. 2003.

Alianza. Alianza Contigo. Reglas de operación de la Alianza Contigo. 2003. [www.siser-alianzacontigo.gob.mx/SISERMLTA/home/REGLOPER/ROp13.htm](http://www.siser-alianzacontigo.gob.mx/SISERMLTA/home/REGLOPER/ROp13.htm). Consultado 26 may, 2015.

BANRURAL. Banco Nacional de Crédito Rural. [http://www.banrural.gob.mx/frameset\\_banco.html](http://www.banrural.gob.mx/frameset_banco.html). Consultado 15 mar, 2005.

Barkin D. Desarrollo regional y reorganización campesina. La Chontalpa como reflejo del gran programa agropecuario mexicano. En Desarrollo Agrario y la América Latina. Selección de Antonio Gracia. Fondo de Cultura Económica, México. 1981 (Cap. 20).

Benor D, Harrison J. Extensión Agraria: sistemas de capacitación y visitas. Washington. Banco Mundial. 1977.

Christoplos, I. et. al. Guía para evaluar la Extensión Rural. 2012.

Cadena IP, Morales GM, González CM, Berdugo RJG, Ayala SA, Estrategias de transferencia de tecnología, como herramientas del desarrollo rural. Libro técnico No. 2. SAGARPA-INIFAP-CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas, México. 2009.

Deschamps SL, Escamilla CG. Hacia la consolidación de un sistema mexicano de innovación agroalimentaria. México: IICA-México. México, D.F. ISBN 13: 978-92-9248-308-1. 2010.

Eguiarte VJA, González SA, Hernández VR. Módulo de validación y demostración de tecnología El Carrizal, Tapalpa, Jalisco; producción de leche, carne, semilla de pasto y madera. Folleto técnico Núm. 1. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Clavellinas. 2004.

Ekboir JM, Dutrénit G, Martínez VG, Torres VA, Vera-Cruz A. Las Fundaciones Produce a diez años de su creación: pensando en el futuro. Inter Serv Nat Agr Res (ISNAR) División, Reporte Técnico, 2006 en: <http://www.researchgate.net/publication/267832979>.

- Escobar G. ¿Requiere América Latina un nuevo estructuralismo para enfrentar la pobreza y desigualdad? Debates y temas rurales No. 6. RIMISP. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural. Santiago de Chile. 2006.
- FAO. Evolución de los servicios de extensión en Nicaragua. 2009.
- FAO. Buenas Prácticas en el manejo de Extensión en América Central. 2011.
- FAO. Estrategias, estructura y programa de la FAO para el desarrollo ganadero de América latina y el Caribe. En: Sexta reunión de la comisión de desarrollo ganadero para América latina y el Caribe. Brasilia, Brasil. 1998.
- FIRA. Memorias de sostenibilidad. Informe. Presentación. 2008.
- FIRA. Capacitación y asistencia técnica a tu alcance. Programa 2010. Centros de Desarrollo Tecnológico de FIRA. FIRA-CDT'S. 2010.
- Flores EMX, Ávila RNA, Solorio SB. Modelo de consenso silvopastoril intensivo para la ganadería sostenible del trópico Michoacano. Guía técnica. Fundación Produce Michoacán, A.C. 2009.
- Fraser C, Restrepo ES. Comunicación para el desarrollo rural en México. En los buenos y en los malos tiempos. Depósito de documentos de la FAO. Departamento de Desarrollo Sostenible. 1966. [www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/w3616s/w3616s02.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/w3616s/w3616s02.htm). Consultado 19 jun, 2015.
- González OTA, Espinoza GJA, Luna EAA. Casos exitosos Guanajuato 2006. Libro técnico. INIFAP, Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto. México. 2007.
- González OTA, Peña VN, Espinoza GJA, GGAVATT de lechería familiar "La Labor", primera evaluación. Publicación especial Núm. 1. UTEP-INIFAP, 2010. Intervención tecnológica con enfoque de competitividad (ITEC). Memoria de trabajo. INIFAP-SAGARPA-CENID Microbiología. 2001.
- INIFAP, El Modelo GGAVATT, una estrategia para incrementar la producción pecuaria. Folleto técnico Núm. 1. INIFAP-División pecuaria-Fundación Produce Tabasco A.C. 1996.
- INIFAP. Grupo de ganaderos para la validación y transferencia de tecnología pecuaria. Casos exitosos. Publicación especial Núm 1. SAGAR-INIFAP. División Pecuaria. 2000.
- INIFAP. Grupo de ganaderos para la validación y transferencia de tecnología pecuaria. Casos exitosos 2000. Publicación especial Núm 2. SAGARPA-INIFAP. División de Investigación Pecuaria. 2002.
- INIFAP. Manual de capacitación para el manejo sostenible en la empresa de bovinos de doble propósito del trópico de México. Libro técnico. ISBN 968-55823-6. SAGARPA-INIFAP-Dirección General de Investigación Pecuaria. México, D.F. 2003.
- INIFAP. Día del ganadero 2006, Campo Experimental "La Posta." Memoria técnica Núm. 18. SAGARPA-INIFAP- CIRGOC. División pecuaria. Campo Experimental "La Posta." 2006.
- INIFAP. Grupo de ganaderos para la validación y transferencia de tecnología pecuaria. Casos exitosos 2003. Publicación especial Núm 3. INIFAP. División General de Investigación Pecuaria. PRONAVATT. 2004.
- INIFAP, Unidad Técnica Especializada Pecuaria (UTEP). Subsecretaría de Desarrollo Rural. Programa de Desarrollo de Capacidades, Innovación Tecnológica y Extensionismo Rural. Componente de Desarrollo de Capacidades y Extensionismo Rural. 2013.
- Ley de desarrollo rural sustentable. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 2001. Última reforma publicada DOF 12-01-2012.
- López FHS. El proceso de transferencia de tecnología: Caso UPDCE [tesis maestría]. IPN. Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales. México, D.F. 2010.
- López G, MS, Mejía C, Juan Carlos, Schmal SR. "Un Acercamiento al Concepto de la Transferencia de Tecnología en las Universidades y sus Diferentes Manifestaciones. (Spanish)," En: Panorama Socioeconómico, 2006;24(32):70-81. ISSN 07161921.
- Magaña MJG, Delgado LR, Valencia HE, Kú Vera JC, Aguilar PC, Segura CJC, Centurión CF, et al. Algunas experiencias en la transferencia de tecnologías en los sistemas de producción de destetes en el oriente de Yucatán, México. 2012.
- Martínez ACO, Evaluación de la sostenibilidad de un modelo de sistema agrosilvopastoril alternativo y su factibilidad de implementarse con productores del sur de Sinaloa [tesis Maestría]. UACH. 2002.

- Martínez H, Namdar M, Mina SR. Sotomayor O. Asesoría técnica en la agricultura chilena: estado del arte, perspectivas. Qualitas Agroconsultores Ltda. 2007.
- Muñoz RM, Aguilar AJ, Rendón MR, Altamirano CJR. Análisis de la dinámica de innovación en cadenas agroalimentarias. UACH-CIESTAAM. ISBN: 978-968-02-0389-5. 2007.
- Novoa BAR, Esquemas institucionales de comunicación y transferencia de tecnología agropecuaria. CATIE-BID. Turrialba Costa Rica. 1983.
- Rangel DA. Programa de Desarrollo de Proyectos Agropecuarios Integrales (DPAI). VII Taller Nacional de Planeación, Seguimiento y Evaluación del PRONAVATT. México, D.F. 2003. [www.inifap.gob.mx/eventos/ANACLETO-RANGEL.pdf](http://www.inifap.gob.mx/eventos/ANACLETO-RANGEL.pdf). Consultado 13 abr, 2005.
- Rendón MR, Aguilar AJ, Muñoz RM, Altamirano JR. Identificación de actores clave para la gestión de la innovación: el uso de redes sociales. Materiales de formación para las Agencias de Gestión de la Innovación. Primera ed. Universidad Autónoma Chapingo-CIESTAAM/PIIAI. ISBN: 978-968-02-0388-8. 2007.
- RNIP. VII Encuentro Nacional de Validación y Transferencia de Tecnología Pecuaria. UNAM-INIFAP-UACH-CP-UAM. México, D.F. 2003.
- Rodríguez ChMA, Román PH, Pérez SJM, Bueno DHM, Aguilar BU. El modelo GGAVATT, estrategia de validación y transferencia de tecnología pecuaria. Octava Reunión Científico-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Veracruz, Ver. México. 1995.
- Rodríguez ChMA. Factores tangibles e intangibles que contribuyen a la evolución, permanencia e impacto del modelo GGAVATT en el estado de Veracruz, México (1982-2007) [tesis doctoral]. CP-Campus Veracruz. Postgrado en Agrosistemas Tropicales. 2010.
- Rogers EM. Diffusion of Innovations. 4th ed. New York: The Free Press; 1995.
- Román PH, Bueno DU, Agilar BJM, Pérez SMA, Rodríguez CH, Koppel RET. Manual del Modelo GGAVATT. Folleto técnico Núm. 27. INIFAP-Fundación Produce Veracruz A.C. Veracruz, Ver. 2001.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Programa de Desarrollo de capacidades en el Medio Rural (PRODESCA). 2002. [www.sagarpa.gob.mx/sdr/progs2002/prodesca\(fin\).htm](http://www.sagarpa.gob.mx/sdr/progs2002/prodesca(fin).htm). Consultado 17 feb, 2015.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2005. [www.sagarpa.gob.mx/Dgg/alianza2003.htm](http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/alianza2003.htm) Consultado 9 feb, 2015.
- SARH.. Manual de Operación del Grupo de Intercambio Técnico. Dirección General de Ganadería, Subsecretaría de Ganadería, Subdirección de Extensión Pecuaria. 1982.
- Salcedo S. Impactos diferenciados de las reformas sobre el agro mexicano: productos, regiones y agentes. Red de Desarrollo Agropecuario. Unidad de Desarrollo Agrícola. División de Desarrollo Productivo y Empresarial. Serie Desarrollo Productivo No. 57. Santiago de Chile [Mimeo.], 1999.
- Sánchez de PTF. Extensión Agraria y Desarrollo Rural. Sobre las teorías y praxis extensionistas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. Serie Estudios. Madrid, España. 1996.
- Sepúlveda GIH. Tecnología Agrícola. Estrategias de desarrollo. Editorial TRILLAS. México, D.F. 2006.
- SINDER. Sistema Nacional de Capacitación y Extensión Rural Integral. Estudio de caso: el sistema nacional de capacitación y extensión rural integral (SINDER) de México. Experiencias de Servicios Privados y Descentralizados de Asesoría a la Agricultura Campesina en América Latina y el Caribe. 1998. [www.fidamerica.cl/actividades/conferencias/extension/ivcon6ec.html](http://www.fidamerica.cl/actividades/conferencias/extension/ivcon6ec.html). Consultado 26 mayo, 2015.
- Sotomayor, et al (CEPAL, 2011); citado por: Catulio, JC. 2014.
- UNAM. Rancho "El Clarín", 12º día del ganadero. Memoria. UNAM-FMVZ-CEIEGT. Martínez de la Torre, Veracruz. 2004.
- Ureña FE. Experiencias sobre transferencia de tecnología en Costa Rica. X Congreso Nacional Agronómico. División Extensión Agropecuaria. Ministro de Agricultura y ganadería. San José Costa Rica. 1996.
- Vázquez GR. La Transferencia de Tecnología Pecuaria en el INIFAP. Presentación. SAGARPA-INIFAP. CENID Microbiología. Julio, 2010.



## NOTAS

## NOTAS





## **LIBRO TÉCNICO**

# **ESTADO DEL ARTE SOBRE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN GANADERÍA BOVINA TROPICAL**



**REDGATRO**  
Red de Investigación e Innovación Tecnológica  
para la Ganadería Bovina Tropical



**CONACYT**