

# Avances de investigación en producción animal en Iberoamérica



Octavio A. Castelán Ortega / Adolfo Álvarez Macías  
Alberto Bernués Jal / Juan Carlos Ku Vera / Vicente C. Silveira  
COMPILADORES



AVANCES DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCCIÓN ANIMAL EN IBEROAMÉRICA

---

Octavio A. Castelán Ortega (México) / Adolfo Álvarez Macías  
(México) / Alberto Bernués Jal (España) / Juan Carlos Ku Vera  
(México) / Vicente C. Silveira (Brasil)

Compiladores





Octavio A. Castelán Ortega (México) / Adolfo Álvarez Macías  
(México) / Alberto Bernués Jal (España) / Juan Carlos Ku Vera  
(México) / Vicente C. Silveira (Brasil)  
Compiladores

# AVANCES DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCCIÓN ANIMAL EN IBEROAMÉRICA



Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán  
Mérida, Yucatán, México  
2012

D.R. © UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE YUCATÁN, 2012

Prohibida la reproducción total o  
parcial de esta obra sin permiso  
escrito del titular de los derechos.

SECRETARÍA DE RECTORÍA  
Departamento Editorial  
Calle 61 núm. 526 entre 66 y 68  
Tel. (999) 924-72-60  
Fax. (999) 923-97-69  
Mérida, Yucatán, México

Impreso en Yucatán, México  
Printed in Yucatan, Mexico

ISBN: 978-607-8191-42-0

SF Avances de investigación en producción animal en  
55 Iberoamérica / Octavio A. Castelán Ortega ... [et al.],  
.L29 compiladores.-- Mérida, Yuc. : UADY, 2012.

.A93  
2012

505 p. : il.

1. Guía de animales—Investigaciones—América Latina.  
2. Ganadería—Investigaciones—América Latina. 3. Alimentos de origen animal—América Latina. 4. Guía de animales—Investigaciones—España. 5. Ganadería—Investigaciones—España. 6. Alimentos de origen animal—España. I. Castelán Ortega, Octavio A.  
ISBN: 978-607-8191-42-0

Lib-UADY

## ÍNDICE

Presentación ..... 11

### **PRESERVACIÓN Y SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS TRADICIONALES DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

PRODUCCIÓN DE CERDOS CRIOLLOS CON INSUMOS LOCALES EN UN SISTEMA INTEGRADO A LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ..... 15  
*W. Trejo-Lizama, R. Santos-Ricalde*

CARACTERIZACIÓN, CONSERVACIÓN Y PROMOCIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS DE INTERÉS AGROALIMENTARIO: CASO PRÁCTICO DE LA CHURRA TENSINA, RAZA OVINA ESPAÑOLA EN PELIGRO DE EXTINCIÓN..... 35  
*A. Sanz, J. Álvarez-Rodríguez, M. Joy, G. Ripoll, A. Marcos-Carcavilla, M. Serrano, J.H. Calvo*

PRODUCCIÓN DE OVINO LECHERO EN EL PAÍS VASCO: EVOLUCIÓN RECIENTE Y SOSTENIBILIDAD DE UN SISTEMA GANADERO ..... 57  
*I. Beltrán de Heredia, B. Díez-Unquera, N. Mandaluniz, E. Ugarte, R. Ruiz-Santos*

PRODUCCIÓN DE ALIMENTO, FORRAJE Y SERVICIOS AMBIENTALES DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN YUCATÁN, MÉXICO ..... 79  
*J.A. Caamal-Maldonado, F. Casanova-Lugo, A. González-Moreno, J. Caamal-Caamal, P. Xiu-Canché, J. Navarro-Alberto, J.B. Castillo-Caamal*

### **AVANCES EN INVESTIGACIÓN EN CALIDAD E INOCUIDAD DE PRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL**

UN MODELO DE SINERGIA EN LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL ..... 107  
*G. Prado, M.A. Cerbón, I. González, M. Noa, F. de León González*

FRAUDES EN LECHE Y DERIVADOS EN MÉXICO .....	149
<i>S. Vega y León, R. Gutiérrez Tolentino, G. Urbán Carrillo, A. Ramírez Ayala, A. Escobar Medina, M. Coronado Herrera</i>	
METODOLOGÍAS APLICADAS EN LA DETECCIÓN DE ADULTERACIONES DE LA LECHE .....	189
<i>R. Gutiérrez, S. Vega, A. Ramírez, M. Coronado, F. Martínez, J. Pérez, M.L. Ramírez, G. Urbán</i>	
DEL PASTO A LA MESA: MEJORA DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE DOS QUESOS ARTESANALES DEL ESTADO DE MÉXICO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS BASES DE SU DENOMINACIÓN DE ORIGEN .....	225
<i>O.A. Castelán Ortega, J. Estrada Flores, A.D. Solís Méndez, G. Yong Ángel, F. Avilés Nova</i>	

## **ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

RECONFIGURACIÓN TERRITORIAL E INTEGRACIÓN VERTICAL DEL SISTEMA LÁCTEO EN MÉXICO: LECCIONES A PARTIR DEL CASO DE QUERÉTARO .....	253
<i>A. Álvarez-Macias, E. Montaño-Becerril, Robert W. Cárcamo Mallen</i>	
NUEVOS ENFOQUES PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS AGRO-SILVO-PASTORILES: ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD Y MODELOS DE SIMULACIÓN .....	277
<i>B. Díez-Unquera, R. Ripoll-Bosch, R. Ruiz, D. Villalba, A. Olaizola, I. Blasco-Aramendía, G. Ripoll, A. Sanz, I. Casasús, M. Joy, I. Beltrán de Heredia, F. Ameen, E. Molina, A. Bernués</i>	
ZONIFICACIÓN PARTICIPATIVA DEL PAISAJE AGROPECUARIO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO EL PINAR, CHIAPAS.....	305
<i>L. Medina Sanson, C. Tejeda Cruz, D. Güiris Andrade</i>	
PROGRAMA DE SIMULAÇÃO PAMPA CORTE PARA BOVINOS DE CORTE E OVINOS: DESENVOLVIMENTO E PERSPECTIVAS .....	347
<i>V.C.P. Silveira</i>	

IDENTIFICACIÓN DE GRUPOS PRODUCTORES DE OVINOS A TRAVÉS DE FUNCIONES Y PROPÓSITOS Y SU RELACIÓN SOCIOECONÓMICA EN DOS COMUNIDADES MARGINADAS DEL ESTADO DE MÉXICO .....	365
<i>E. Sánchez Vera, O. Muñoz Guzmán, C. Arriaga Jordán, A. Espinoza Ortega, E. Martínez Castañeda</i>	

## **AVANCES EN INVESTIGACIÓN SOBRE TEMAS EMERGENTES EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DE NEMATODOS GASTROINTESTINALES EN PEQUEÑOS RUMIANTES: ESTADO DEL ARTE .....	393
<i>J.F.J. Torres-Acosta, C. Sandoval-Castro, R. Cámara-Sarmiento, A.J. Aguilar-Caballero</i>	

LAS ARVENSES Y ESPECIES NATIVAS UTILIZADAS COMO FORRAJE EN LOS SISTEMAS GANADEROS, COMO MEJORADORAS DE LA EFICIENCIA RUMINAL Y REDUCTORAS DE EMISIONES DE METANO .....	413
<i>J.G. Estrada-Flores, R. Martínez-Loperena, E. Andrade-Rivero, A.R. Martínez-Campos, O. A. Castelán-Ortega</i>	

## **AVANCES EN NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN**

USO DE ESPECIES LEÑOSAS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL .....	447
<i>L. Ramírez Avilés, J.C. Ku Vera, F.J. Solorio Sánchez, C.A. Sandoval Castro, A.J. Ayala Burgos</i>	

ESTRATEGIAS DE SUPLEMENTACIÓN PARA EL GANADO RUMIANTE CON BASE EN RECURSOS ALIMENTARIOS TROPICALES.....	467
<i>A.J. Ayala-Burgos, J.C Ku-Vera, L. Ramírez-Avilés</i>	

CONTRIBUCIÓN DEL FRIJOL TERCIOPELO ( <i>Mucuna sp.</i> ) PARA REDUCIR LA INSEGURIDAD ALIMENTARIA EN ÁREAS TROPICALES .....	481
<i>J.B. Castillo-Caamal, L.A. Sarmiento-Franco, A.J. Ayala-Burgos, A.J. Chay-Canul</i>	



## PRESENTACIÓN

La presente obra es una selección de los trabajos de investigación presentados durante el primer congreso de la Red Iberoamericana de Sistemas Agro-Silvo-Pastoriles Sustentables (RedISAS), celebrada en la ciudad de Mérida, Yucatán, México, del 28 de septiembre al 2 de octubre de 2009. En cada capítulo se presentan los resultados de investigaciones desarrolladas por destacados científicos de centros de investigación-universidades mexicanas, españolas y brasileñas; los capítulos abordan temas de gran relevancia y actualidad en la producción animal en Iberoamérica. Todos los trabajos fueron dictaminados positivamente por pares académicos y se realizó un cuidadoso trabajo editorial con el fin de cuidar que la obra cumpliera con los criterios científicos y editoriales similares a los de las revistas científicas, sin embargo, la ventaja de la presente obra, en comparación con los artículos de revistas, es que los autores pudieron presentar con mayor amplitud los alcances de sus trabajos, incluyendo metodologías y técnicas de trabajo de campo y de laboratorio, de tal forma que la presente obra se constituirá en un documento de consulta sobre variados temas de la producción animal en Iberoamérica, como los sistemas agro-silvo-pastoriles como una forma de producción animal más sustentable, el empleo de modelos matemáticos de simulación en la investigación agropecuaria, metodologías y técnicas de laboratorio para investigar la calidad, o bien, la adulteración de leche y productos lácteos. También aborda de manera completa, nuevas aproximaciones para tratar problemas emergentes de la producción animal en Iberoamérica como es el manejo de la resistencia de las poblaciones de parásitos gastrointestinales a los antiparasitarios tradicionales, la contribución del ganado a las emisiones de gases de efecto invernadero y las alternativas que se están desarrollando para su mitigación, o sobre la importancia del rescate y preservaciones de razas de ganado autóctonas

pero en peligro de extinción y que su por su diversidad y valor biológico merecen ser preservadas, como es el caso del Cerdo Pelón Mexicano o la oveja de raza Churra Tensina de España. Finalmente, es importante resaltar que tanto el congreso de la RedISAS como la presente obra fueron posibles gracias al financiamiento del Programa de Mejoramiento del Profesorado de la Secretaría de Educación Pública de México.

Dr. Octavio Alonso Castelán Ortega  
*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*  
*Universidad Autónoma del Estado de México*



**PRESERVACIÓN Y SUSTENTABILIDAD  
DE SISTEMAS TRADICIONALES  
DE PRODUCCIÓN ANIMAL**



# PRODUCCIÓN DE CERDOS CRIOLLOS CON INSUMOS LOCALES EN UN SISTEMA INTEGRADO A LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

*W. Trejo-Lizama<sup>1</sup>, R. Santos-Ricalde<sup>1</sup>*

**RESUMEN** En este estudio se analiza un modelo de integración de producción de cerdos utilizando insumos locales para su alimentación y las contribuciones para el cultivo maíz. Para ello se consideraron los elementos esenciales para establecer una integración de la producción animal y de cultivos. Considerando, además, experiencias generadas en diferentes partes del mundo y las propias de la agricultura maya tradicional, como el sistema de milpa que se practica en el sureste de México. Se establecen elementos de genética de los cerdos, su alimentación y manejo en exterior, así como la manera de establecer la integración y su efecto en el cultivo de maíz.

**Palabras claves:** cerdos, criollos, sistema, integrado, producción, maíz

**SUMMARY**-The present study analyses the process of integration of the Mexican hairless Creole pig into the traditional Mayan system of maize production. The elements that contribute to the integration of pigs into the cropping system like the use local forages and maize weeds or maize crop by-products to feed pigs were considered by the authors in the analysis. On the other hand, the contribution of the Creole pig to the maize production system in terms of manure production and its use as fertiliser was also analysed. Similar experiences from other parts of World together with the own experiences of the traditional Mayan *milpa*, which is still in practice in the south of Mexico, were also included in the analysis too. There were also considerations on the pig's genetics,

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Yucatán, Cuerpo Académico Producción Animal en Agroecosistemas Tropicales, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. wlizama@uady.mx

their feeding practices and husbandry in free range systems, as well as the way to implement the integration and its effect on the maize yield.

**Key words:** pigs, creoles, systems, integrated, maize, yield

## INTRODUCCIÓN

La cría de cerdos pelones en las comunidades rurales de Yucatán representa parte de una estrategia de la población campesina para poder consumir proteína y energía de origen animal, y obtener un ingreso adicional a partir de la venta de los animales finalizados. Este tipo de cerdo ha sido conocido como la alcancía para ahorrar de la gente campesina.

La rusticidad y la menor demanda de nutrimentos del cerdo pelón, asociadas en parte a la menor capacidad de producción, hacen de este cerdo el idóneo para ser criado por los campesinos en sistemas que utilizan pocos insumos externos y aprovechan de manera racional los recursos naturales disponibles en la comunidad. Por el contrario, el cerdo comercial no es recomendable para estos sistemas, pues es altamente demandante de alimentos de alta calidad y de infraestructura y equipo para su crianza.

Los sistemas convencionales de producción de cerdos a nivel comercial actualmente son criticados por el riesgo ecológico que representan. La porcicultura comercial está asociada a una gran cantidad de desechos residuales que se producen durante el proceso de producción y que son motivo de un intenso seguimiento y cuidado, principalmente por el interés de preservar los recursos naturales, especialmente los cuerpos de agua subterráneos. Las tecnologías para manejar adecuadamente estos desechos tienen un alto costo y, por tanto, no están disponibles para medianos y pequeños productores cuya dinámica requiere de otras alternativas, en este caso se considera la implementación de alternativas que optimicen la integración de la producción animal y de los cultivos.

En la actualidad, la separación espacial de la producción de cultivos y animales resulta en un flujo de nutrientes del área de cultivos a los animales

en el sistema milpa-traspatio, sin retornar a la milpa. Además, existe la tendencia hacia la reducción del tiempo de descanso del monte. Ambos factores están causando una considerable reducción en la producción de maíz.

En este trabajo se analiza la posibilidad de integrar al cerdo pelón para mantener un flujo de nutrimentos entre los cerdos, el suelo y los cultivos, y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos nutritivos disponibles, en un sistema de bajos insumos externos de pequeños productores en el trópico de México.

## RECONOCIENDO LAS OPORTUNIDADES DE LOS SISTEMAS MIXTOS

La integración de cultivos y animales sigue representando la principal alternativa para la intensificación de la producción de alimentos. Los sistemas mixtos permiten al productor la oportunidad de diversificar el riesgo de una sola producción de cultivos o de animales, usar el trabajo de una manera más eficiente, tener una fuente de ingresos y de añadirle un valor agregado a alimentos de poco o bajo valor. De un alcance variable, los sistemas mixtos permiten el uso de productos de desecho de una producción (subproductos de cultivos, excretas) como un insumo a la otra producción (como alimento o abono). Los sistemas mixtos son en principio benéficos para la calidad del suelo, en términos de mantener la fertilidad del suelo (Thomas y Barton, 1995 citados por De Haan, Steinfeld y Blackburn 1997).

A continuación se presentan las bases metodológicas para la integración de la producción de cerdos y el cultivo de maíz. La integración de cultivos y animales en sistemas mixtos no genera nutrientes nuevos (aparte de las plantas leguminosas). El componente animal en sistemas de bajos insumos externos facilita los siguientes procesos importantes (adaptados de De Haan, Steinfeld y Blackburn 1997):

- la asignación temporal y espacial de nutrientes desde áreas de bajos retornos de cultivos a áreas que permitan altos retornos de cultivos,

- el incremento en el ritmo de reciclaje de nutrientes en el ciclo de producción,
- la disminución de la pérdida de nutrientes en cada ciclo (comparado con sistemas de solo cultivos).
- en términos biológicos la función mayor de la integración cultivo / animal es poder manejar el mantenimiento del balance de nutrientes en el sistema.

La integración espacial de animales y cultivos es disponer de áreas para cultivar el alimento a utilizar en la alimentación de los animales y que los animales puedan ya sea consumir el alimento directamente o utilizar la cosecha o el corte y acarreo para proporcionárselo y que los desechos de los animales se utilicen para fertilizar esas mismas áreas de cultivo.

Por otro lado, la integración temporal de animales y cultivos, que consiste en mantener a los animales durante un tiempo antes y o después de algún cultivo, considera la necesidad de establecer encierros para el confinamiento de los animales, o bien, la del aprovechamiento de áreas durante ciertas temporadas como en el caso de los todavía practicados sistemas de pastoreo de montaña, o en zonas semiáridas, consideradas de bajo rendimiento y utilizando las excretas de los animales para abonar áreas que propicien mayor rendimiento.

La aplicación de excretas al suelo incrementa la capacidad de retención de nutrientes (capacidad de intercambio catiónico), mejora las características físicas del suelo al incrementar la capacidad de retención de agua y mejora la estabilidad de la estructura del suelo, lo que contribuye a mejorar la materia orgánica del suelo y mantener y crear mejores condiciones para la microflora y fauna del suelo. Esto permite integrar al ciclo de producción y al reciclaje de nutrimentos, que de otra manera se perderían o que pueden llegar a convertirse en serios problemas de contaminación atmosférica, del agua y del mismo suelo.

Una de las principales contribuciones de los animales en los sistemas mixtos es proporcionar servicios están: la fuerza de trabajo para preparar el suelo, riego, trillar y el transporte de los productos; el uso de las excretas de los animales para preparar abonos para integrar los

al suelo con los beneficios que se describieron anteriormente, el uso de las excretas combinado con otros residuos para la producción de biogás, para utilizar como combustible y contribuir al control de malezas, lo que se considera un control biológico, que se puede dar en caminos, acuíferos, ríos y canales Amir y Knipscheer (1989) y en las mismas parcelas donde se desea establecer algún cultivo.

En el sistema convencional de producción de cerdos, menos del 10% del alimento que se utiliza proviene de la misma granja, las dietas que se utilizan son balanceadas y se proporcionan cantidades suficientes para un rendimiento alto de animales mejorados, todo ello con el objetivo de tener una alta eficiencia de conversión alimenticia en el animal. Por otro lado, en los sistemas integrados, más de 50% del alimento se produce en la propia granja o sistema, se trata de utilizar de manera eficiente los recursos disponibles, sin embargo, la alimentación es variable y depende de la disponibilidad estacional de los insumos, cuyas características pueden ser de muy buenas, hasta insumos toscos con alto contenido de fibra y con la necesidad de algún tratamiento para eliminar factores antinutricionales. Bajo estas condiciones los animales, principalmente criollos, tienen periodos de alto rendimiento, en contraste con periodos de bajo rendimiento.

### **La necesidad de abonos para mantener la producción de cultivos**

A nivel de pequeños productores, las prioridades no están enfocadas en la alta producción pero sí en hacer el mejor uso de nutrientes disponibles en el agroecosistema. Este y otros servicios a la agricultura los podemos encontrar en las funciones que pueden tener los animales en un agroecosistema integrado. Una de las ventajas, en especial de los cerdos, en un sistema integrado está en que puede remover el suelo por una conducta de exploración propia del cerdo de hozar el suelo en busca de insectos, áreas frescas para descansar y de esta manera mezclar los materiales como hojarasca, tallos y la misma excreta depositada en el mismo espacio, de tal manera que con ello se enriquece la materia orgánica del suelo.

Sin embargo, esta misma actividad también podría causar daños si la densidad de animales es alta, dentro de lo que llamaremos la carga animal aplicada.

### **Carga animal en el manejo de cerdos en exterior**

Diferentes elementos entran en juego para calcular la carga animal de cerdos en exterior. Primeramente, enlistaremos algunos elementos a considerar para definir la carga animal. Por un lado, cuando los animales están en un sistema de pastoreo, el elemento importante es la biomasa de pasto disponible inicial y de acuerdo con la época del año y si la pradera cuenta con riego, entonces nos permitirá calcular el tiempo de estancia de un determinado número de cerdos para dicha superficie, con una biomasa disponible dada, con el objetivo de permitir el rebrote del pasto después de un tiempo de descanso. Por otro lado, en un sistema integrado en el cual el propósito es preparar el terreno para cultivar, entonces el objetivo es que durante la estancia de los cerdos se reduzca la biomasa de plantas y que dicha reducción sea importante para evitar que el rebrote sea una competencia para el cultivo deseado, y con ello las labores culturales, especialmente la mano de obra para la limpieza del terreno, se reduzcan sustancialmente. Por lo anterior, la adecuada carga animal de cerdos será diferente y dependerá del objetivo para el cual se requiere el manejo de los cerdos en pastoreo o en exterior. En algunos lugares como en la India se utilizan los cerdos como única estrategia posible para eliminar una maleza agresiva como la juncia de nuez (*Cyperus nilotica*) (Chinnamuthu, 1996). Este es un ejemplo de un servicio que pueden proporcionar los animales a las labores culturales, especialmente de la preparación del terreno para cultivar.

En general, se debe considerar para calcular o determinar la carga animal a utilizar, los siguientes elementos:

- De los animales: el número, peso, estado fisiológico, el nivel de alimentación
- Del alimento: volumen, contenido de nutrientes y digestibilidad
- De la superficie del terreno: dimensión, tipo de suelo, cobertura de biomasa de pasto o arvenses y época del año



Dado que se pueden presentar diversas combinaciones de los elementos mencionados, se hace necesario tener algunas unidades e información complementaria para expresar la carga animal en el manejo de cerdos en exterior. Un indicador que considera el número de animales y su peso, y la superficie de terreno, se puede expresar como kilogramos de peso vivo de cerdos por metro cuadrado y con ello calcular la escala a una hectárea, lo que podría expresarse como kg PV de cerdo/m<sup>2</sup> o kg PV de cerdo/ha. La información complementaria a este indicador sería el tiempo de estancia de los cerdos en dicha superficie y el tipo de alimento utilizado y sus características.

#### CARACTERÍSTICAS DEL CERDO PELÓN Y SU CRIANZA EN YUCATÁN

Los cerdos pelones de México provienen de los primeros cerdos que llegaron a América procedentes de España a finales del siglo XV y principios del XVI. Estos cerdos se encuentran ampliamente distribuidos a todo lo largo del Golfo y Pacífico de México (Sierra *et al.*, 2005).

Actualmente este cerdo ha sido declarado como una especie en peligro de extinción en México, por la Sagarpa (2009). Anderson *et al.* (1999) determinaron que solamente 0.5% de la población de cerdos criollos tenía las características raciales correspondientes. Según Sierra *et al.* (2005), el cerdo pelón de Yucatán ha disminuido drásticamente su población en los últimos 30 años. Al respecto, en un estudio realizado por Sierra *et al.* (2003) en varios poblados del estado de Yucatán, encontraron solamente 500 cerdos pelones con características de pureza y en edad reproductiva.

Si bien la costumbre de criar cerdos en el traspatio está muy arraigada en la cultura campesina maya, es evidente que el cerdo pelón está siendo desplazado por razas comerciales de cerdos. En un estudio realizado por Santos *et al.* (2004) se observó que en poblados cercanos a la ciudad de Mérida, capital de Yucatán, 100% de la gente que criaba cerdos en sus traspatios utilizaba razas comerciales, en cambio en poblados alejados de la ciudad de Mérida se podía observar que 84% de



**Figura 1.** Características fenotípicas del cerdo pelón.

las personas que criaban cerdos utilizaban animales que por sus características raciales correspondían a cerdos criollos pelones.

El cerdo criollo pelón de Yucatán es, por sus características fenotípicas, muy similar al cerdo pelón de otras regiones del país, el cual, de acuerdo con Méndez Medina *et al.* (2002), tiene similitudes con el cerdo ibérico. Al respecto se describe al cerdo criollo pelón de Yucatán como un animal de capa negra con escaso pelo en el cuerpo, a veces con mamellas, de orejas erectas y perfil de trompa recta (Figura 1).

Los cerdos pelones son criados en comunidades rurales por campesinos como fuente de alimento y, por otro lado, para vender y obtener ingresos económicos (Lemus *et al.*, 2003). Sin embargo, el precio de venta en vivo del cerdo pelón es entre 30% y 40% inferior al del cerdo comercial mejorado. Esto último es consecuencia del menor rendimiento de carne (Méndez Medina *et al.*, 2002).

Los cerdos pelones son alimentados principalmente con plantas silvestres como el huaxin (*Leucaena leucocephala*) y el ramón (*Brossimum alicastrum*), desperdicios de comida y maíz; y son criados en sistemas



**Figura 2.** Sistemas de pastoreo libre de cerdos pelones.

de pastoreo libre, con refugios rústicos en el traspatio (Santos *et al.*, 2004) (Figura 2).

Los criadores de cerdo pelón en Yucatán generalmente cuentan con un nivel de estudios muy bajo. Esta actividad la realizan principalmente mujeres mayas campesinas y muchas de ellas de edad avanzada (Sierra *et al.*, 2005). Es evidente que existe una relación directa entre el nivel socioeconómico de la población rural y el tipo de cerdos que crían. Los habitantes rurales con un nivel socioeconómico más alto crían cerdos comerciales, pues cuentan con los recursos económicos para procurarles a los cerdos las condiciones de alimentación (alimento balanceado) e infraestructura (corraletas) que requieren, por el contrario los campesinos con un nivel económico más bajo prefieren criar cerdos pelones, pues consideran que se adaptan mejor a las condiciones de alimentación basada en desperdicios y plantas silvestres y refugios más rústicos (Santos *et al.*, 2004).

Se le ha prestado poca atención al manejo de cerdos criollos en un sistema de pastoreo libre. Sin embargo, es importante el potencial de utilizar los

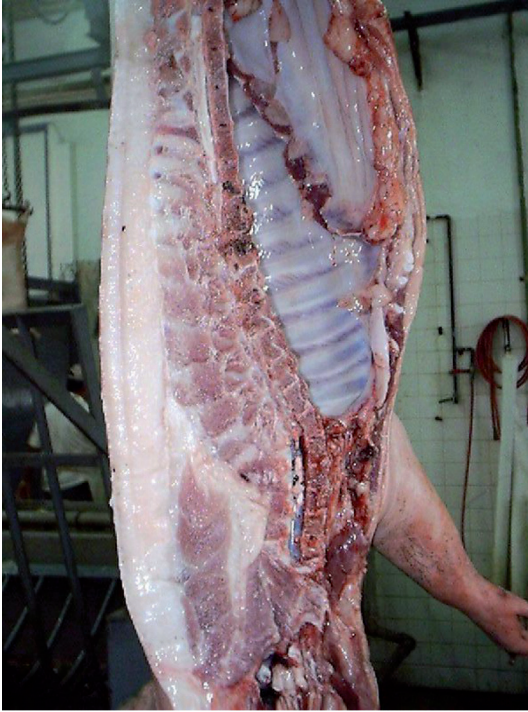
desperdicios de una producción, en este caso las excretas de los cerdos, para utilizarlas como insumo en forma de fertilizante para el cultivo de maíz.

### **Comportamiento productivo del cerdo pelón**

Se considera al cerdo pelón como un animal de bajo rendimiento productivo. Esto se debe en parte a que no ha sido sometido a ningún programa de mejoramiento productivo.

Al respecto, Ake Piste *et al.* (2008a) reportan ganancias de peso de  $0.304 \pm 0.02$  kg de ganancia diaria durante un periodo de 93 días de engorda, en cerdos pelones de Yucatán. Ganancias de peso de 0.345 kg/día, muy similares a las mencionadas anteriormente, han sido reportadas para el cerdo criollo cubano (Rico *et al.*, 2008).

En general, se considera al cerdo pelón como un animal con un elevado contenido de grasa en la canal (Méndez Medina *et al.*, 2002). En un trabajo realizado por Ake Piste *et al.* (2008b), donde se evaluó el rendimiento de la canal de cerdos pelones de Yucatán sacrificados a diferentes pesos, de entre 25 y 45 kg de peso vivo, se encontró que el rendimiento de canal estuvo entre 77 y 80%, muy similar al reportado para el cerdo Ibérico (83%) (Aparicio *et al.*, 1986). Ake Piste *et al.* (2008b) también encontraron un incremento lineal del grosor de la grasa dorsal de la canal a la altura de la última costilla de 1.34 cm a los 25 kg de peso vivo a 2.21 cm a los 45 kg de peso vivo. En otro trabajo, cerdos pelones sacrificados a un mayor peso (115.3 kg) tuvieron un mayor grosor de grasa dorsal (3.1 cm) (Méndez Medina *et al.*, 2002). Por otro lado, Ake Piste *et al.* (2008b) observaron que la cantidad de carne obtenida a partir de la pierna y la espaldilla de los 25 a los 45 kg de peso vivo se incrementó de una manera cuadrática, lo que indica que la tasa de crecimiento se redujo después de los 35 kg de peso vivo, mientras que el crecimiento de la grasa dorsal continuó de manera lineal. De acuerdo con lo mencionado por Méndez Medina *et al.* (2002), la curva de crecimiento en los cerdos pelones cambia a determinado peso y a partir de ese momento el aumento de peso se logra principalmente por la deposición de grasa (Figura 3).



**Figura 3.** Características de la canal del cerdo pelón.

La capacidad de depositar grasa del cerdo pelón puede verse como una desventaja desde el punto de vista de los efectos que pueden tener sobre la salud humana el consumo de grasa, sobre todo cuando la gente lleva vidas sedentarias, sin embargo, en las comunidades rurales donde la gente campesina realiza una fuerte actividad física en labores propias de la agricultura y la ganadería, la manteca de origen animal puede ser considerada un fuente excelente de energía a un bajo costo, comparado con el precio de los aceites de origen vegetal. Así mismo, la manteca es muy demandada, pues es un ingrediente importante en la tradicional cocina yucateca.

Con respecto del comportamiento reproductivo del cerdo pelón en Yucatán, Sierra *et al.* (2005) mencionan que la fertilidad global es de casi 95% los días abiertos y el intervalo entre partos son de 95.3 y 197.1 días, respectivamente. El número de nacidos fue de 5.2 lechones en promedio, el peso de la camada al nacimiento fue de 4.47 kg y al destete de 16.0 kg.



Estos indicadores son inferiores a los reportados en otros trabajos con cerdos pelones de otras partes del país, donde el peso de la camada fue de 4.95 kg y al destete de 20.72 kg (Lemus *et al.*, 2003). Sin embargo, los pesos promedios del nacimiento y al destete (0.860 y 4.0 kg, respectivamente) reportados por Sierra *et al.* (2005), fueron similares a los reportados por Lemus *et al.* (2003) para el peso promedio al nacimiento y al destete (0.820 y 3.930 kg, respectivamente).

Por su parte Chimal *et al.* (2006) observaron en un lote de hembras de cerdos pelones criados en Yucatán un promedio de 6.74 lechones nacidos por parto, y 3.83 lechones destetados por hembra, lo que representó una mortalidad durante la lactancia de 56.8%, mortalidad muy superior a la reportada por Sierra *et al.* (2005), de 20%. Sin embargo, estos parámetros productivos podrían ser mejorados con la implementación de algunas tecnologías básicas en el diseño de refugios de maternidad y lactancia (Tabla 1).

**Tabla 1.** Parámetros productivos de los cerdos pelones

Item	Parámetro
Ganancia diaria de peso <sup>1</sup>	0.304 kg
Rendimiento de canal <sup>1</sup>	77-80%
Grasa dorsal a los 45 kg de peso vivo <sup>1</sup>	22 mm
Días abiertos <sup>2</sup>	95.3 días
Intervalo entre partos <sup>2</sup>	197.1 días
Fertilidad <sup>2</sup>	95%
Lechones nacidos por parto <sup>3</sup>	6.74
Lechones destetados por hembra <sup>3</sup>	3.83
Peso al nacimiento <sup>2</sup>	0.820 kg
Peso al destete <sup>2</sup>	3.930 kg

<sup>1</sup> Ake Piste *et al.* (2008a); <sup>2</sup> Sierra *et al.* (2005); <sup>3</sup> Chimal *et al.* (2006)

## LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN EL SURESTE DE MÉXICO Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

La producción de maíz es la base de la alimentación de las familias campesinas rurales de Yucatán, y los excedentes se pueden utilizar para criar



**Figura 4.** Hembra de cerdo pelón con su camada en suelos pedregosos de la península de Yucatán.

algunos animales menores, como cerdos y aves (Anderson *et al*, 2003). En la Tabla 2 se presentan datos de distribución del uso de maíz para consumo humano y consumo animal realizado en el sureste de México; es importante resaltar que aunque la disponibilidad de maíz y el consumo por animales pueda variar, las necesidades diarias de maíz para consumo humano están alrededor de 5.5 kg por familia. Ya que el consumo animal de maíz depende de la disponibilidad, se hace importante la búsqueda de alternativas alimenticias para los animales para sustituir el maíz en caso de una baja disponibilidad.

La producción de maíz en el sureste de México, como otras partes de México, depende del sistema roza tumba y quema (R-T-Q) también llamado sistema milpa. El sistema milpa, practicado por los campesinos mayas del sureste de México, consiste en la tumba de un área y la quema de la biomasa como método de preparación del terreno para establecer cultivos durante dos a tres años, dependiendo del tiempo de descanso de ese terreno. El tiempo de descanso adecuado (Teran y Rasmussen, 1992) es de al menos 25 años, sin embargo, en algunos lugares este tiempo se ha acortado

Tabla 2. Partición de maíz entre las necesidades de consumo familiar y la de animales (Anderson *et al.*, 2003)

Sitio de investigación/ Comunidad	Maíz disponible diario <sup>1</sup> (kg)	Consumo familiar diario (kg)	Consumo por animales diario (kg)	Comentarios sobre seguridad alimenticia
SI 1 Yucatán	26.5	5.5	12	Producción de maíz suficiente para la familia y animales
SI 2 Campeche				Muchas familias enfrentan inseguridad alimenticia.
X'culoc	11	6	7	Competencia familia/animales
Sacabchén	18.2	6	8	
SI 3 Chiapas	4	5	2	Producción de maíz insuficiente para cubrir necesidades familiares. Pocos animales

en alrededor de 10 años y en otros, el tiempo de descanso solo puede ser de 5 años. La quema reduce o elimina la materia orgánica de la superficie del suelo y la capa más cercana a la superficie, pero tiene la ventaja de reducir también las malezas y las semillas de las malezas que al germinar se convierten en una competencia para el cultivo deseado. Bajo las condiciones de suelo pedregoso de la península de Yucatán este sistema es la alternativa desarrollada desde los campesinos mayas. Por esta misma condición pedregosa no se utiliza maquinaria para preparar la tierra.

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE CERDOS Y EL CULTIVO DE MAÍZ

Aspectos importantes que se consideraron en el diseño del presente modelo de integración temporal y espacial de la crianza de cerdos y el cultivo de maíz, son aquellos relacionados con contribuciones de los animales a la productividad de la unidad de producción; a lo que



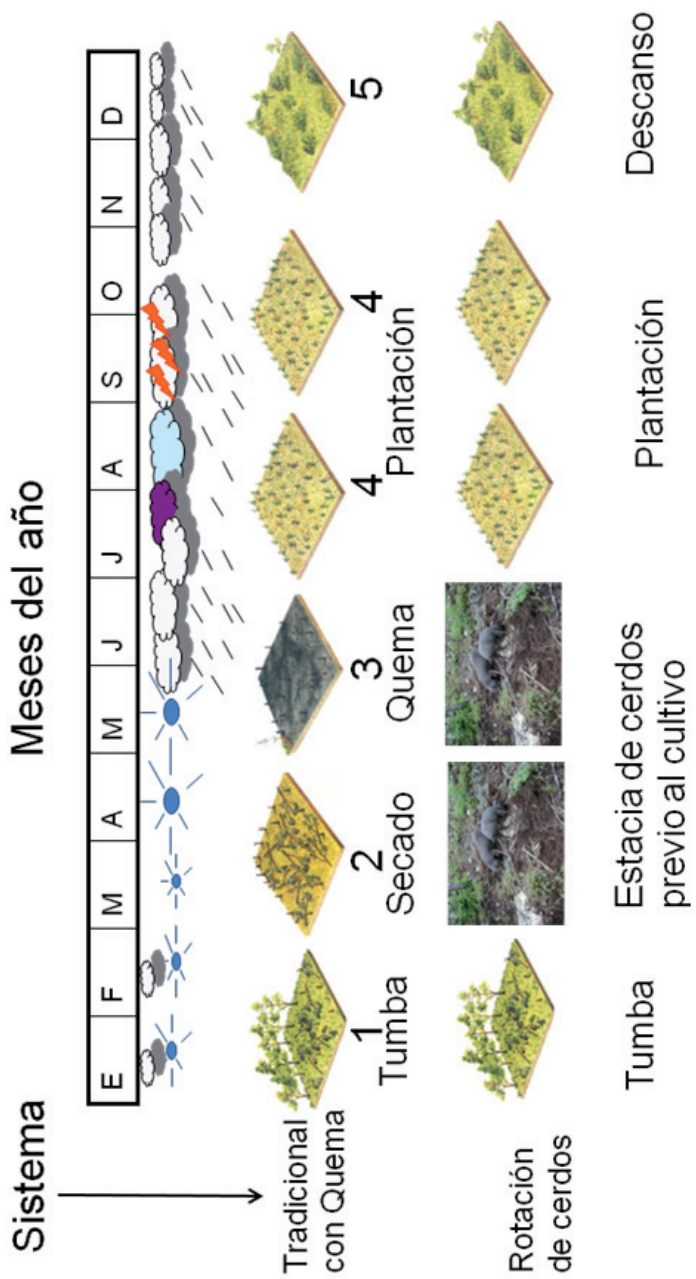
Jahnke (1982), citado por Anderson *et al.* (2003), considera una de las principales funciones de los animales.

Trabajos realizados con cerdos criollos en un sistema en exterior integrado al cultivo de maíz contribuyen a reducir o evitar el uso de fertilizantes inorgánicos, mantener por más tiempo el uso de de la misma superficie a cultivar, evitar el uso de quema para preparar el terreno para cultivar, entre otros. Dado que se trabaja con animales y cultivos, es importante resaltar que el sistema de rotación en cuestión considera aspectos del manejo de los cerdos en cuanto a la raza a utilizar y su manejo alimenticio y, por otro lado, la manera de establecer la integración.

### **La raza de cerdo a utilizar y su manejo alimenticio**

En otro nivel, se considera adaptar el periodo de tiempo de pastoreo a la estación del año, orientado esto a sustituir la quema de los esquilmos agrícolas por la integración al suelo de la biomasa acumulada. Como se puede ver en la Figura 5, la estancia de los cerdos en las parcelas es en los meses previos al inicio de las temporada de lluvias, lo cual, durante la caída de las primeras lluvias permite la actividad de roturar y movilizar el suelo, y al establecerse de manera regular la lluvia, permite retirar a los cerdos para realizar el cultivo.

Este sistema de integración de la producción de cerdos y el cultivo de maíz considera, por un lado, la sustitución de concentrados alimenticios elaborados con insumos convencionales, por alimentos elaborados con insumos cultivados localmente en el trópico de México, en este caso con frijol *Mucuna (Stzobium deeringianum)*; con ello se logra mejorar la dieta comúnmente utilizada para alimentar cerdos en los sistemas de traspatio. La raza a utilizar es un aspecto relevante si consideramos alimentar a los cerdos con insumos cultivados localmente, ya que el potencial de retención de nitrógeno, relacionado con el balance de la ración y la necesidad de energía metabolizable y nutrientes, entre ellos la proteína cruda en la dieta de los cerdos, y, por otro, lado del potencial genético de la raza del cerdo, según Trejo (2005), hay una diferencia en la retención



**Figura 5.** Sistema de integración de la producción de cerdos y el cultivo de maíz comparado con el sistema tradicional R-T-Q (Milpa)

de nitrógeno ente los cerdos criollos (cerdo pelón mexicano) y las razas de cerdos mejoradas (cruza de Pietrain x PIC) con distintos niveles de alimentación. Lo anterior permite determinar como mejor opción el uso de cerdos criollos de acuerdo con las características y disponibilidad de insumos cultivados localmente.

### **La manera de establecer la integración y sus resultados**

Este sistema evaluado por Trejo (2005) consiste en mantener cerdos en las parcelas donde posteriormente se establecerá algún cultivo, en este caso el de maíz. En la Figura 5 se presenta un esquema utilizado para ello. Uno de los objetivos de este sistema de integración es la sustitución de la quema de los esquilmos agrícolas por la integración de estos esquilmos al suelo durante la actividad de roturar el suelo por los cerdos; esta actividad de hozar el suelo por los cerdos es una actividad de exploración propia de esta especie que reconocemos como importante para integrar la biomasa, entre ella la hojarasca, malezas o plantas no consumidas por el cerdo y las propias excretas de ellos, que depositan en estas mismas áreas. De acuerdo con resultados obtenidos por Trejo (2005), la utilización de mucuna en la dieta de los cerdos incrementa la proporción de nitrógeno que se excreta en las heces en relación con la cantidad de nitrógeno que se excreta en la orina. Esto favorece que más nitrógeno sea aprovechado por los cultivos, pues el nitrógeno de la orina depositado en el suelo se pierde rápidamente por evaporación.

En este sistema de bajos insumos externos no se recomienda el uso de razas comerciales de cerdos cuando solo se tienen recursos alimenticios que no logren cubrir los requerimientos nutritivos de dichos animales mejorados, pues fácilmente estos animales pueden pasar a un estado de balance energético negativo y tener un bajo comportamiento productivo.

Los resultados obtenidos en estos trabajos indican que la producción de grano de maíz se logra mantener en alrededor de 1 tonelada/ha en un sistema de rotación de cerdos como el que se describió anteriormente. Por el contrario, el sistema tradicional de RTQ no pudo mantener el nivel de

producción del maíz pasando de 1.5 ton/ha a 0.3 ton/ha en el tercer ciclo de producción. Los resultados anteriores se explican, en parte, por el ligero incremento de nitrógeno mineral en el suelo en el sistema rotacional con cerdos, lo que sugiere que existió un incremento de la tasa de movilización del nitrógeno, pero también por la disminución de malezas a los 30 días posteriores a la siembra de maíz, que reduce la competencia del cultivo y malezas y favorece el desarrollo del cultivo.

Algunos problemas que puede presentar este sistema son: por un lado el riesgo de ataque a los cerdos por parte de depredadores, principalmente de perros ferales. Por otro lado, un problema que se ha podido observar al poner en práctica este sistema es la mala distribución de las excretas de los cerdos, resultado de una conducta propia del cerdo, que consiste en establecer un área para defecar y de esta manera evitar contaminar áreas de pastoreo. Sundrum *et al.* (2002) determinaron un incremento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en el suelo de los alrededores de los comederos y bebederos. Para mejorar la distribución de las excretas se redujo el tamaño de las parcelas y se les proporciono áreas nuevas de pastoreo con mayor frecuencia.

## CONCLUSIONES

Las características productivas de los cerdos pelones les permite adaptarse a los recursos naturales disponibles para su alimentación y a los sistemas agrícolas que practican los campesinos mayas. Con base en los resultados obtenidos en trabajos realizados anteriormente, es posible sugerir la integración de los cerdos pelones a los sistemas mayas de producción de maíz para poder trabajar por más años los terrenos agrícolas, sin necesidad de talar más selva para tener áreas nuevas de cultivo y con ello contribuir a la conservación de los recursos genético animales y los recursos naturales, utilizando sistemas de producción productivos y ecológicamente sustentables.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ake Piste J., Trejo Lizama W., Santos Ricalde R.H., Osorto Hernandez W. (2008a). "Comportamiento productivo, rendimiento de la canal y grasa dorsal de cerdos criollos sacrificados a diferentes pesos". En: XXXVI Reunión Anual, Asociación Mexicana de Producción Animal. 1 y 2 de diciembre de 2008. Facultad de agronomía UANL. Escobedo, Nuevo León, México.
- (2008b). "Rendimiento de canal de cerdos criollos sacrificados a diferentes pesos". En: Reunión Mesoamericana de Ciencia Animal. 8 y 9 de mayo. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UJAT. Villahermosa, Tabasco, México.
- Amir y Knipscher (1989). *Conducting On-farm animal research*. Washington, D.C. Winrock International.
- Anderson S., Ferrás N. y Rivera T. (1999). "La población de cerdo criollo en Yucatán, México: estado del impacto genético". En: *Memorias del Seminario Internacional sobre Agroviodiversidad Campesina*. Del 12 al 14 de mayo. Centro de Investigaciones en Ciencias Agropecuarias de la Facultad de Geografía de la UAEM, Toluca, México. pp. 257-266.
- Anderson S., Clark S., Keane B., Moguel J. and Trejo W. (2003). "Optimising the integration of livestock into small-scale low external input crop systems". En: *FTR-Yucatan-London Inter-University Collaborative Project*. Natural Resources Institute (NRI), Chatham, UK. 167 pp.
- Aparicio Macarro J.B., Peña Blanco F. y Herrera García M. (1986). "Ceba del cerdo ibérico. IX. Ganancia en peso vivo y espesor del pániculo adiposo en régimen de montanera con suplementación de cebada + lisina + metionina". *Archivos de Zootecnia*. 35:267-282.
- Chimal P., Abreu J.E., Pech F.G. y Mex G. (2006). "Estudio sobre la conservación y la determinación de algunos indicadores del parto al destete del cerdo pe-lón mexicano en Yucatán". En: *Memorias de la III Reunión Estatal de Investigación Agropecuaria, Forestal y Pesca, Mérida, Yucatán, México*, pp. 59-62.
- Chinnamuthu C.R. (1996). "Los cerdos aprovechan la peor maleza del mundo". En: *Boletín de ILEIA: Hacia una Agricultura Ecológica* 12 (2): 16. Disponible en: <http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/latin-america/ademas-de-arroz>. Consultado el 26 de septiembre de 2011.
- De Haan C, Steinfeld H. and Blackburn H. (1997). "Livestock and the Environment: Finding a balance". En: *Word Bank, FAO and USAID*. pp. 104. Washington, D.C. Estados Unidos.

- Lemus F.C., Alonso M.R., Alonso-Spilsbury M. y Ramírez N.R. (2003). "Rendimiento reproductivo en cerdos nativos mexicanos". *Archivos de Zootecnia*. 52: 109-112.
- Méndez Medina R.D., Becerril Herrera M., Rubio Lozano M.S. y Delgado Suárez E.J. (2002). "Características de la canal del cerdo pelón mexicano, procedente de Mizantla, Veracruz, México". *Veterinaria México*, 33: 27-37.
- Rico C., Roque R., García G., Agüero L.M. (2008). "Estudios sobre la conservación del cerdo criollo cubano". *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. 15:113-117.
- Sagarpa. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. "Informe sobre la situación de los recursos genéticos pecuarios (RGP) de México". Disponible: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/rgpfao.htm>. Consultado 19 ene, 2009.
- Santos Ricalde R., Hau C.E., Belmar Casso R., Armendáriz Yáñez I., Cetina Góngora R., Sarmiento Franco L. y Segura Correa J. (2004). "Socio-economic and Technical Characteristics of Backyard Animal Husbandry in Two Rural Communities of Yucatan, Mexico". *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 105:165-173.
- Sierra Vásquez A., Canul Solís M., Cen Aguilar F., Rodríguez Canal R., Delgado Bermejo J.V. y Martínez Martínez A. (2003). "El cerdo pelón mexicano: programa de conservación genética de una raza en peligro". *Archivos de Zootecnia* 52: 279-284.
- Sierra, A.C., Poot T.B., Díaz Z.I., Cordero A.H. y Delgado J.V. (2005). "The Mexican hair-less pig, an endangered breed". *Archivos de Zootecnia*. 54: 165-170.
- Steinfeld H., de Haan C. y Blackburn H. (1997). "Livestock-Environment Interactions: Issues and Options". En: FAO, EU, USAID and the World Bank. Suffolk, UK, pp. 51. Reino Unido.
- Terán S. y Rasmussen Ch. (1992). *La milpa de los mayas. La agricultura de los mayas prehispánicos y actuales en el noreste de Yucatán. México*. Ed. Danida. Mexico, pp. 349.
- Trejo Lizama W. (2005). "Strategies to improve the use of limited nutrient resources in pig production in the tropics", Suplemento No. 85 del *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, Universidad de Kassel GmbH, Alemania.

CARACTERIZACIÓN, CONSERVACIÓN  
Y PROMOCIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS  
DE INTERÉS AGROALIMENTARIO:  
CASO PRÁCTICO DE LA CHURRA TENSINA, RAZA  
OVINA ESPAÑOLA EN PELIGRO DE EXTINCIÓN

*A. Sanz<sup>1</sup>, J. Álvarez-Rodríguez<sup>1</sup>, M. Joy<sup>1</sup>, G. Ripoll<sup>1</sup>,  
A. Marcos-Carcavilla<sup>2</sup>, M. Serrano<sup>2</sup>, J.H. Calvo<sup>1</sup>*

**RESUMEN** Uno de los objetivos que se persigue desde hace años en el CITA es el estudio de la base genética de los sistemas de producción de vacuno y ovino de carne de Aragón, a través de la caracterización, preservación y mejora de diversas razas ganaderas. En este capítulo se presentan las actividades emprendidas con la Churra Tensina, raza ovina autóctona en peligro de extinción, originaria de la zona de montaña del Pirineo Oscense. Se realizó una primera labor de prospección de individuos de la raza en Aragón, y se caracterizó su sistema de explotación a través de encuestas a los ganaderos. Se estudió a continuación la morfología racial a partir de las medidas zoométricas y caracteres fanerópticos de los animales inscritos en la Asociación de Criadores (ATURA). En diversos ensayos se analizaron los parámetros productivos y reproductivos de la raza, y se comparó la calidad de la canal de los tipos comerciales de cordero lechal, ternasco y pastenco de raza Churra Tensina. Por último, se llevó a cabo la caracterización genética de la raza, mediante el análisis de los 30 microsátélites de DNA recomendados por la FAO para la tipificación de secuencias génicas distintivas

1 Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza, España. asanz@aragon.es

2 Departamento de Mejora Genética Animal, INIA. Ctra. de la Coruña km 7,5. 28040 Madrid, España

de las poblaciones ovinas. Las explotaciones de la raza Churra Tensina son de mediano tamaño (182 animales) y tienen garantizada su continuidad, a pesar de que complementen sus ingresos con otras actividades. Según los índices etnológicos, esta raza se clasificaría como mediolínea, dolicocéfala y eumétrica. Los estudios mostraron una raza homogénea, con niveles altos de variabilidad genética y bajos de consanguinidad. La raza presentó entidad genética propia, sin intercambio de material genético con otras razas del tronco Churro. A su vez, se confirmó la viabilidad comercial de los distintos tipos de cordero estudiados, abriendo alternativas de producción frente al tradicional ternasco. La evolución del censo de 837 individuos a 8,500 en los últimos 10 años y la crioconservación de material genético (DNA, semen y embriones) garantizan la preservación de la raza Churra Tensina en el Pirineo Oscense a largo plazo.

**Palabras clave:** razas amenazadas, ovino, Churro, germoplasma, genética

**SUMMARY** The cattle and sheep study of genetic basis of farming systems in Aragón is an aim of the CITA since years ago. This objective may be achieved through the characterization, conservation and improvement of several autochthonous breeds in this area. This chapter aims to present the research activities on the Churra Tensina sheep breed, raised on the mountain area of Huesca Pyrenees. First, the population structure was prospected and the farming system was characterized through surveys to farmers. Second, the animal morphology was studied through zoometric measurements and phaneroptic characters assessment of the individuals belonging to the breeders' Association (ATURA). The productive and reproductive parameters of this breed were analysed in different trials, and the carcass quality of the suckling, light and heavy lamb commercial categories were compared. Third, the genetic characterization was conducted by the 30 DNA micro-satellites analysis recommended by the FAO for the genetic sequences categorization of ovine populations. Churra Tensina farms are medium sized (182 animals) and have assured continuity, although they complement their incomes with other working activities. According to the ethnologic indexes, this breed is mediolineous, dolicocephalous and eumetric. The genetic studies showed that this breed is homogeneous, with high genetic variability and low inbreeding. This breed was self-genetic diffe-



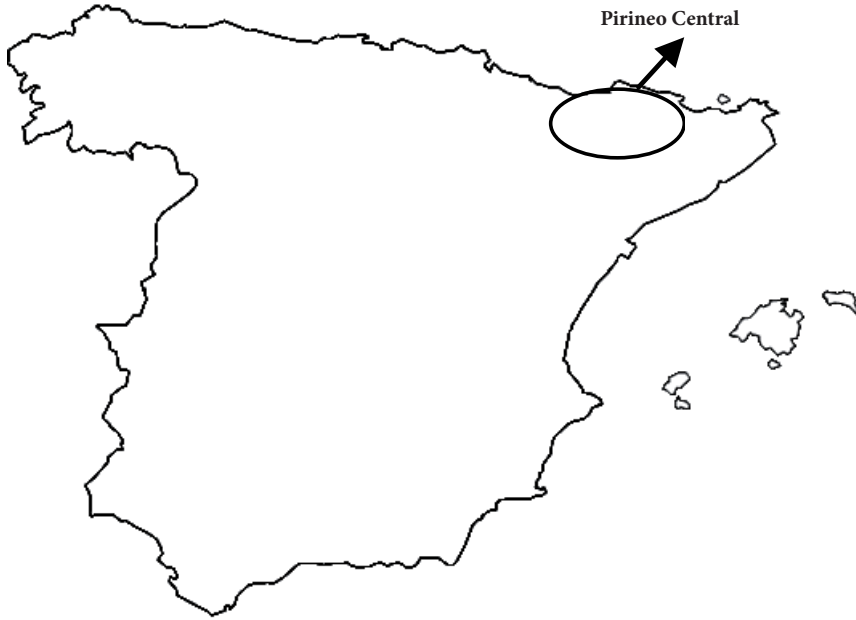
rentiated, and has no crossbreeding with other Churro group populations. Likewise, the commercial value of the different lamb types studied was confirmed and other production alternatives than the traditional light lambs have been suggested. The census evolution from 837 individuals to 8.500 in the last 10 years and the cryopreservation of genetic material (DNA, semen and embryos) assure the long term maintenance of Churra Tensina breed in Huesca Pyrenees.

**Key words:** endangered breeds, sheep, Churro, germplasm, genetics

## INTRODUCCIÓN

El origen del tronco ovino Churro descende del *Ovis aries studery* de Duerst (Sierra, 2002), poblador de la cuenca mediterránea, habiendo dado lugar en España a varios tipos o agrupaciones étnicas (Castellana, Lebrijana, Tensina, etc.). La raza Churra Tensina debe su denominación al hecho de asentarse ancestralmente en el valle de Tena del Pirineo Central español (Figura 1), donde ha permanecido acantonada durante siglos, siendo base de la vida socioeconómica de muchos municipios del Alto Aragón. En cuanto al sistema de cría, tradicionalmente los rebaños de esta raza eran trashumantes, aprovechando en verano los pastos de montaña y en invierno las estepas y barbechos del Valle del Ebro. Aunque hasta hace pocas décadas se ordeñaba, hoy se cría únicamente por su producción cárnica.

La Churra Tensina fue una raza apreciada por su capacidad de aprovechar pastos difíciles y soportar condiciones climáticas adversas, como el frío o la lluvia, que le permitía alargar las épocas de pastoreo en zonas de alta montaña. Sin embargo, estas ventajas no consiguieron frenar la caída en su número de efectivos (en el año 2000 solo 837 animales estaban inscritos en el Libro Genealógico). Esta drástica reducción en el censo se podría atribuir a varios factores, como son la desaparición del sistema de trashumancia (tan extendido y practicado hace algunos años en Aragón), la depreciación económica de las canales de corderos provenientes de razas locales (debido a un supuesto inferior rendimiento productivo y peor aspecto exterior de la canal) y, como consecuencia del factor anterior, la



**Figura 1.** La raza Churra Tensina es originaria de una zona de montaña del Pirineo Central español (600-3.300 m sobre el nivel del mar; huso: 30, latitud: 42° 41' N, longitud: 0° 18' W).

introducción y cruzamiento con razas “mejorantes”, lo que desencadenó un mestizaje incontrolado en dicha población. Esta situación hizo que la raza Churra Tensina fuera considerada como raza en peligro de extinción (BOE, 1997) y, según el criterio de la FAO, como una raza “en riesgo-mantenida”. Así constaba en la base de datos Domestic Animal Diversity Information System (DAD-IS) de la FAO (FAO, 1996) y continúa en la actualidad.

En este trabajo se presenta un resumen de las actividades emprendidas en el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón con el fin de recuperar y promocionar la raza ovina Churra Tensina.

#### CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

Para conocer la caracterización estructural de la raza se realizaron encuestas personalizadas en las 15 explotaciones pertenecientes a la Asociación

de Criadores (ATURA) en el año 2006. La información requerida en la encuesta (un total de 106 cuestiones) se agrupó en los siguientes apartados: localización (7), base territorial (8), composición del rebaño (12), alojamientos (3), mano de obra (7), manejo reproductivo (7), alimentación (19), cría de corderos (8), patología e higiene (3), tratamientos y profilaxis (7), gestión, asesoramiento y comercialización (16), y dinámica de la explotación (9). Los resultados descriptivos se analizaron con el procedimiento FREQ del paquete estadístico SAS.

Las explotaciones se encuentran localizadas en su mayoría en las comarcas del Sobrarbe (40%), Alto Gállego (20%), Jacetania (13%) y Ribagorza (7%), en el Pirineo Oscense, y en puntos aislados de la geografía aragonesa (Hoya de Huesca, Monegros, Tarazona) (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2008). Los alojamientos de los rebaños suelen ser naves/establos (53% de las explotaciones), o una combinación de establos y “bordas” (antiguos corrales) (33%), situados a un promedio de 2 km de distancia de los núcleos urbanos. La mayoría disponen de energía eléctrica (60%) y todos tienen abastecimiento de agua para el rebaño, normalmente de la red pública (67%). Todas las explotaciones poseen tierras para la alimentación del ganado, la mayoría en régimen de propiedad y arrendamiento (73%).

El tamaño medio de los rebaños es de 256 ovejas adultas (de ellas, 182 Churra Tensina), con un ratio de 31 reproductoras por morueco (34 en Churra Tensina). El tamaño de la base animal es sensiblemente menor al encontrado en otros grupos raciales en zonas de montaña adyacentes (Avellanet, 2006; Riedel *et al.*, 2007). Con el objetivo de relacionar el tamaño del rebaño con los factores técnicos de la explotación a través de tablas de contingencia, éste se dividió en tres categorías (<100, 101-200, >200 hembras adultas). En promedio, existen 34 corderas de reposición (29 Churra Tensina) por explotación, que suponen 13% del total de hembras del rebaño (14% en Churra Tensina). La Churra Tensina supone de media 75% del total de hembras adultas del rebaño. Un 73% de las explotaciones complementan su actividad con otras especies, principalmente caprino y/o vacuno.

El origen de las corderas y de los moruecos de reposición es exclusivamente propio en 87% y 67% de los casos, respectivamente. No obstante, se ha comprobado que hasta el momento se conserva un buen grado de diversidad genética en esta raza, como se describirá en un apartado posterior del capítulo. En los momentos en que se han abastecido de animales, las hembras han procedido principalmente de la Finca Experimental La Garcipollera y/o de los hermanos Garcés de Fanlo (60% de las explotaciones en ambos casos). Por su parte, 40% de machos proviene de La Garcipollera y 53% de Fanlo.

Un 33% de los ganaderos no realizan estabulación invernal del rebaño y 27% estabulan únicamente a las ovejas lactantes o aquéllas con parto múltiple. Un 73% de los rebaños aprovechan superficies de puerto (promedio superior a 475 ha), de monte bajo o forestal (promedio superior a 600 ha) y praderas polifitas (promedio praderas permanentes 10 ha, praderas cultivadas 5 ha en las explotaciones situadas a menor cota), no encontrándose relación entre estas variables y los distintos tamaños del rebaño ( $P > 0,05$ ). La duración media del pastoreo en puerto es de tres meses, mientras que el periodo de aprovechamiento de montes y praderas es superior a cuatro meses en ambos casos, y comprende normalmente los periodos intermedios de primavera y otoño. La producción de heno de pradera (73% de los ganaderos, media de 1 corte en pradera permanente, 4 cortes en cultivada) para alimentación invernal del rebaño no se encuentra relacionada con el tamaño del rebaño ni con la realización de estabulación invernal de los mismos ( $P > 0,05$ ).

La mano de obra es familiar en 73% de las explotaciones, colaborando entre 1 y 2 miembros de edades medias de 46 y 30 años, respectivamente. De éstos, alrededor de 82% de los ganaderos se dedican a esta actividad de forma parcial, lo que concuerda con el reducido tamaño del rebaño observado. Tanto el sistema de alimentación con base forrajera como la situación de pluriactividad observados son similares a los descritos en otras zonas pirenaicas (Riedel *et al.*, 2007). Un 27% de las explotaciones poseen personal asalariado, con una edad media de 39 años.

Un 60% de los ganaderos organizan una sola época de partos al año, con una duración media de 6 meses. Un 20% organiza dos parideras de cuatro meses de duración media cada una y el resto (20%) tres épocas de 1,5 meses de promedio cada una. La estación de partos más importante es el otoño en la mayoría de explotaciones (93%), seguida del invierno (80%), primavera (53%) y verano (33%). Todos los ganaderos suplementan energéticamente a las ovejas en algún momento del año (53% de las explotaciones en primavera, 13% en verano, 67% en otoño, 93% en invierno), especialmente a las lactantes, no asociándose esta práctica a la organización de las épocas de partos ( $P>0,05$ ). El 73% de los ganaderos vacunan a su rebaño, especialmente frente a enterotoxemia (100%), y todos desparasitan el ganado (53% una vez al año, en invierno-primavera), en el marco del programa sanitario de las Asociaciones de Defensa Sanitaria incentivadas por el gobierno estatal, y a las que todos pertenecen.

Un 67% de los ganaderos identifican individualmente todos los corderos, que son destetados en 60% de los casos (40-55 días de vida) y posteriormente engordados a base de concentrado comercial. Un 93% de las explotaciones producen mayoritariamente corderos ligeros tipo Ternasco (20-25 kg peso). Únicamente 20% de las ganaderías ceban a sus corderos en pastoreo junto a sus madres, y de éstos, 7% lo hace solo durante el verano. Un 40% de los ganaderos venden los corderos directamente a carnicero y otro 40% a una gran cooperativa de la comunidad. La aceptación del producto es en general buena (87% de los casos). Un 53% de los ganaderos conoce el punto de venta de la carne (33% de las ganaderías es vendida en la comarca).

Un 87% de los ganaderos ha elegido esta raza por tradición, ligando su explotación a un territorio concreto. En los últimos 10 años 73% de las explotaciones han crecido de tamaño, tendencia acorde con la evolución observada en el censo de los animales inscritos en el Libro Genealógico de la raza, que ha pasado de 837 individuos en el año 2000 a 8,500 en el año 2010. La mayoría de los ganaderos (80%) aspiran a mantener la actividad en los próximos años.

## ESTUDIO MORFO-ESTRUCTURAL Y ZOOTÉCNICO DE LA RAZA

Con objeto de describir la morfología de la raza, se realizó un estudio biométrico sobre 85 animales adultos (> 2 años, determinados a partir de la dentadura), 53 hembras vacías y 32 machos, procedentes de cuatro explotaciones representativas del conjunto de la Asociación de Criadores (ATU-RA). Adicionalmente, se registró el peso vivo y la condición corporal en escala de 1 a 5 (Russel *et al.*, 1969) en los mismos animales. Se eligieron 15 variables zoométricas para describir el estándar morfológico cuantitativo de la raza, agrupando medidas cefálicas (3), del tronco (10) y de las extremidades (2), siguiendo la metodología descrita por Aparicio (1960). A partir de las anteriores medidas se calcularon los índices corporales, que relacionan las diversas medidas realizadas sobre el animal para facilitar su clasificación racial (índices etnológicos) y la evaluación de su aptitud (índices funcionales). El control de los caracteres fanerópticos se realizó a partir de las recomendaciones de valoración de estándares raciales en ovino (Aparicio, 1960; Sánchez Belda, 1964). Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM de SAS en las variables zoométricas estudiadas, incluyendo como efectos fijos el sexo (macho y hembra) y la edad (de 2 a 4 años, más de 4 años) de los animales. Además, las diferencias entre sexos y explotaciones en variables fanerópticas se estudiaron por medio de un test chi-cuadrado y se comprobó con el test F-Fisher ( $\alpha=0,05$ ).

Los resultados descriptivos del estudio biométrico se muestran en la Tabla 1. Se observó que las variables productivas peso vivo y condición corporal mostraron mayor heterogeneidad que las variables zoométricas. La talla media de la raza, definida por su alzada a la cruz y alzada a la grupa, fue el carácter más uniforme. El peso vivo y la mayoría de las medidas cefálicas y del tronco fueron inferiores a los recogidos en la base de datos de la FAO en las razas filogenéticamente próximas Churra y Churra Lebrijana (FAO, 1996), y en la ambientalmente cercana Xisqueta (Avellanet, 2006). Este pequeño formato podría ser resultado de su explotación en ambientes duros de montaña que han implicado normalmente fuertes desplazamientos verticales durante el pastoreo. Todas las variables zoomé-

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del peso vivo, condición corporal y medidas zoométricas. Fuente: modificado de (Alvarez-Rodríguez *et al.*, 2008).

	Hembras (media ± DE)	Machos (media ± DE)	CV (%)	Efectos	
				Sexo	Edad
Peso vivo (kg)	44,5 ± 5,7	66,5 ± 10,0	14,5	***	NS
Condición corporal (1-5)	2,68 ± 0,36	2,84 ± 0,33	12,8	*	NS
<i>Medidas cefálicas (cm)</i>					
Longitud de la cabeza	23,5 ± 1,1	27,5 ± 2,0	6,2	***	NS
Longitud de la cara	19,1 ± 2,3	23,7 ± 1,1	8,9	***	NS
Anchura de la cabeza	9,0 ± 1,1	10,8 ± 1,0	11,1	***	NS
<i>Medidas del tronco (cm)</i>					
Alzada a la cruz	64,7 ± 2,5	72,0 ± 2,6	3,8	***	NS
Alzada a la grupa	66,3 ± 2,7	72,3 ± 3,1	4,2	***	NS
Diámetro longitudinal	66,9 ± 3,3	72,7 ± 5,2	5,9	***	NS
Diámetro dorso-esternal	30,6 ± 2,7	35,4 ± 2,1	7,7	***	NS
Alzada al hueco sub-esternal	34,1 ± 3,2	36,6 ± 2,4	8,2	***	NS
Diámetro entre encuentros	16,8 ± 2,1	20,3 ± 2,4	12,1	***	NS
Diámetro bicostal	22,4 ± 2,1	25,2 ± 2,3	9,5	***	NS
Anchura de la grupa	17,3 ± 1,2	18,6 ± 2,1	9,2	**	NS
Longitud de la grupa	19,9 ± 1,6	20,8 ± 2,0	8,7	NS	NS
Perímetro torácico	86,8 ± 4,3	98,5 ± 5,7	5,3	***	NS
<i>Medidas de las extremidades</i>					
Perímetro de la rodilla	12,5 ± 0,8	14,3 ± 1,3	7,8	***	NS
Perímetro de la caña	7,7 ± 0,4	9,1 ± 0,7	6,7	***	NS

Interacción Sexo x Edad no significativa ( $P > 0,05$ ).

DE = Desviación estándar, CV = Coeficiente de variación.

tricas medidas, excepto la longitud de la grupa, presentaron un marcado dimorfismo sexual, pero ninguna de ellas se vio afectada por los grupos de edad adulta definidos.

El índice corporal ofrece una estimación de la proporcionalidad de la raza y, en este caso, indicó para ambos sexos la forma mediolínea. De los índices etnológicos estudiados, únicamente el índice corporal presentó un marcado dimorfismo sexual. Además, los machos adultos de más de 4 años fueron más compactos que el resto, principalmente por su elevado perímetro torácico. Las razas ambientales y/o lecheras son por definición longilíneas, como describieron Olleta (1988) y el patrón racial de esta raza (BOA, 2001). Sin embargo, la proporción longilínea de la raza no ha podido confirmarse en

este trabajo, similar a lo ocurrido en las razas Churra Lebrijana (Romero *et al.*, 2007) y Xisqueta (Avellanet, 2006).

El índice cefálico se refiere a la armonía de las proporciones de la cabeza, y en esta raza se clasifica como marcadamente dolicocefala, ya que predomina la longitud de la cabeza en relación con su anchura. El índice pelviano indica la estructura de la grupa y se relaciona con la aptitud reproductiva de los animales, permitiendo clasificar la grupa de esta raza como convexilínea. La mayoría de los índices funcionales mostró un marcado dimorfismo sexual y una ausencia de efecto de la edad (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2008). Los resultados del índice dátilo-torácico, que relaciona el perímetro de los metacarpos con la compacidad del cuerpo, indican que la raza es eumétrica (de formato mediano). Los índices de profundidad relativa del tórax, pelviano transversal y pelviano longitudinal permiten estimar la aptitud cárnica de la raza, mientras que los índices dátilo-torácico y dátilo-costal están relacionados con la aptitud lechera. Estos índices mostraron valores intermedios que no permiten diferenciar ninguna aptitud marcada, lo que demuestra la adaptación de la raza a su zona y sistema de explotación.

En relación con la caracterización morfológica cualitativa, el prototipo racial observado describe un animal eumétrico (Figura 2), de proporciones mediolíneas y caracterización sexual bien definida. La cabeza es de tamaño medio y en armonía con el volumen corporal; perfil fronto-nasal recto o ligeramente convexo en las hembras y más convexo en los machos; cara estrecha,



**Figura 2.** Hembras de la raza Churra Tensina.



larga y con los ojos a flor de cabeza; nariz estrecha; boca de labios finos; orejas de longitud media, insertas horizontalmente y muy móviles; y se acepta la presencia tanto de cuernos como de mamellas en ambos sexos. El tronco es largo y profundo, en el que destaca ligeramente la cruz, siendo la línea dorso-lumbar ligeramente ascendente hacia la grupa. Las extremidades son cortas y fuertes, idóneas para el terreno abrupto, con pezuñas fuertes y simétricas. Las hembras presentan mamas bien desarrolladas, con piel fina desprovista de lana, pezones largos y simétricos; y los machos, testículos simétricos en tamaño y situación, con la piel de las bolsas totalmente desprovista de lana. Tienen la capa blanca (aunque pueden existir individuos totalmente negros), con pigmentación centrífuga (negra o marrón) en la cara y parte distal de las extremidades; y el vellón es extenso y blanco, con lana gruesa, poco ondulada y de buena longitud, para soportar bien la lluvia y la humedad.

Prácticamente todos los caracteres cumplieron el patrón racial descrito en la creación del Libro Genealógico de la Raza (BOA, 2001), con excepción de la proporción mediolínea observada en el presente trabajo, como se ha señalado anteriormente.

#### CARACTERIZACIÓN REPRODUCTIVA DE LA RAZA

La producción de los rebaños ganaderos depende en gran medida de su base animal. De ahí la importancia que adquiere realizar un manejo reproductivo adecuado de los animales en su edad temprana, para no comprometer su posterior desarrollo a adulto. En este sentido, se estudió la edad y el peso a la pubertad en 32 corderas (21 procedentes de parto simple y 11 de parto doble, fecha media nacimiento: 8 abril, 2,9 kg peso) (Sanz y Álvarez-Rodríguez, 2008). Dichas corderas se criaron con sus madres en praderas con libre acceso a concentrado en primavera, y tras el destete (5.7 meses, 26.9 kg) se mantuvieron en praderas con suplemento de granulado de alfalfa hasta el siguiente verano (14.5 meses, 37.6 kg). Se tomaron muestras semanales de sangre entre los 6 y los 14.5 meses de edad para analizar

los niveles plasmáticos de progesterona mediante radioinmunoanálisis. Las corderas se cubrieron por primera vez el siguiente otoño (18.5 meses; 42.0 kg) por monta natural durante un periodo de 45 días.

El 84.4% de las corderas alcanzaron la pubertad en otoño-invierno y 6.3% lo hizo en la primavera siguiente (7.9 meses, 30.7 kg, 65-70% peso adulto). El 55.2% de las corderas púberes mostraron fases interluteales de duración más larga de lo habitual después de la primera ovulación (ciclos largos de 4-7 semanas). El 96.3% de las corderas que alcanzaron la pubertad en otoño-invierno dejaron de ovular después de 2.2 ciclos estrales iniciales (22.2% de ellas lo hizo después de la primera ovulación). El 70.4% de las corderas superaron el anestro estacional (duración media 4.4 meses) antes de finalizar la primavera (13.6 meses, 37.2 kg, 80-85% peso adulto). El 78.1% de las corderas parieron a los 163 días después de la introducción del morueco (39.2 kg peso después del parto, 85-90% peso adulto). De estos resultados se desprende que las corderas nacidas en primavera no deberían ser cubiertas antes de que alcancen 13-18 meses de edad para evitar un posible desequilibrio entre las necesidades de crecimiento y desarrollo y su fisiología reproductiva.

Por otro lado, se determinó la duración del anestro postparto en 48 ovejas con parto en primavera (fecha media: 25 de marzo). Para ello, se tomaron muestras semanales de sangre del parto al último día de primavera (13 muestreos para determinar progesterona). La primera oveja que ovuló se detectó el 10 de mayo, observándose la mayor frecuencia de ovulaciones el 7 de junio (19% de ovejas). De media, 44.7% de las ovejas alcanzaron su primera fase luteal y 36.2% su segunda fase luteal postparto antes de finalizar la estación de primavera. La duración media del anestro postparto en época de anestro estacionario fue de 2.5 meses. El 27.7% de las ovejas que ovularon en ese periodo mostraron un ciclo estral de duración corta (de una semana) después de la primera ovulación. Por tanto, en nuestras condiciones de trabajo, la estacionalidad no sería un factor limitante en las producciones finales de los rebaños de Churra Tensina.

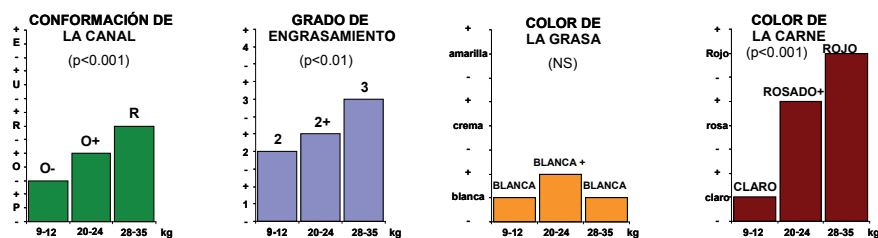
## TIPIFICACIÓN DE CANALES DE CORDERO LECHAL, TERNASCO Y PASTENCO

Se han abordado numerosos trabajos en el seno de nuestro equipo con objeto conocer los rendimientos productivos y las características de la canal y de la carne en animales de la raza Churra Tensina, bajo diferentes manejos y sistemas de explotación (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2007, Carrasco *et al.*, 2009). Igualmente, se ha estudiado la posibilidad de diversificación de la producción ovina en Aragón, a través de la comparación de la calidad de la canal de distintos tipos comerciales de cordero de la raza Churra Tensina (Sanz *et al.*, 2008). Para ello, se estudiaron las canales procedentes de 42 corderos machos de parto simple de la raza Churra Tensina, sacrificados a 9-12 kg (lechal), 20-24 kg (ternasco) y 28-35 kg de peso vivo (pastenco). Los corderos tipo lechal (n=15, fecha media parto: 21 de octubre) se alimentaron de leche materna y permanecieron en pradera de fondo de valle con sus madres. Los corderos ternascos (n=12, fecha media parto: 28 de Marzo), además de la alimentación anterior, tuvieron acceso a concentrado (185 y 175 g Proteína Bruta/kg MS, 193 y 212 g FDN/kg MS, de iniciación [primer mes] y cebo, respectivamente). Los corderos pastencos (n=15, fecha media parto: 10 de Abril) fueron castrados a los 35 días de edad y siguieron un manejo análogo a los ternascos durante la primavera (hasta los 75 días de edad). En verano, se trasladaron a los puertos de montaña, donde se alimentaron de leche materna y pastos supra-forestales. A los 160 días de edad bajaron del puerto y permanecieron en pradera de fondo de valle durante 20 días, donde dispusieron de leche materna, pasto y 250 g de concentrado de engorde por animal y día. Cuando los corderos alcanzaron el peso comercial de sacrificio, se trasladaron al matadero experimental del CITA en Montañana (Zaragoza), donde fueron sacrificados siguiendo la normativa sobre protección de animales en el momento del sacrificio (RD 54/1995).

Se registró el peso del cordero desde el nacimiento hasta el sacrificio, así como el peso de la canal caliente y fría (tras 24 horas de oreo a 4 °C). Como se describe en la metodología de Sanz *et al.* (2008), se realizaron las medidas objetivas de conformación de la canal fría, así como su clasificación

subjetiva de conformación (escala SEUROP) y engrasamiento (escala de 1 —poco engrasada— a 4 —engrasada—). También se registraron las características subjetivas de la grasa (cantidad, color y consistencia) y el color de la carne de la canal. Por último, se realizó el despiece normalizado considerando siete regiones anatómicas, en función de la categoría comercial: (1<sup>a</sup>) Costillar, pierna y badal, (2<sup>a</sup>) espalda y (3<sup>a</sup>) cuello, bajos y cola. Los datos se sometieron a un análisis de varianza con el procedimiento GLM de SAS.

De los resultados observados, se puede destacar que las canales más ligeras presentaron el mayor rendimiento comercial (53.8, 51.4, y 49.5%, para lechal, ternasco y pastenco, respectivamente;  $P < 0.001$ ), debido quizá al mayor desarrollo del tracto digestivo del ternasco. Estos rendimientos fueron mayores que los descritos en otras razas españolas, probablemente porque los animales del presente ensayo no se destetaron. Como era de esperar, todas las medidas lineales realizadas sobre las canales aumentaron significativamente al incrementarse el peso de la canal ( $P < 0.05$ ), dando lugar a canales mejor conformadas y también más engrasadas. Las canales de los corderos lechales, por tanto, presentaron la peor conformación y el menor grado de engrasamiento (Figura 3) de los tres tipos comparados, aunque se debe subrayar que mostraron un grado de finalización muy aceptable.



**Figura 3.** Evaluación subjetiva de las canales de corderos de los tipos comerciales Lechal (9-12 kg PV), Ternasco (20-24 kg PV) y Pastenco (28-35 kg PV) de la raza Churra Tensina. Fuente: modificado de (Sanz *et al.*, 2008).

Los tres tipos comerciales del estudio mostraron una grasa blanca de consistencia dura. Por el contrario, el color de la carne de las canales sí que estuvo influido por el peso de sacrificio: las canales de lechal presentaron

una coloración clara, posiblemente debida a la dieta láctea que recibieron; las canales de ternasco mostraron color rosado, y a pesar de que los cordeiros se criaron en pastoreo con acceso a concentrado, estuvieron dentro del rango de color que en la bibliografía otorgan al ternasco y que varía del rosa al rojo pálido; las canales de pastenco fueron las más oscuras, presentando una coloración roja, debido probablemente a una mayor concentración de mioglobina en canales más pesadas, y a una superior incorporación de forraje en su dieta.

El porcentaje de piezas de primera categoría (costillar, pierna y badal) fue mayor en el tipo comercial pastenco ( $P < 0,05$ ), mientras que el porcentaje de piezas de segunda categoría (espalda) fue mayor en el tipo lechal ( $P < 0,05$ ), demostrando que el costillar es una pieza de desarrollo tardío y la espalda es de desarrollo precoz.

El rango de características de la canal y de la carne observadas en los animales de la raza Churra Tensina confirmó la viabilidad comercial de los tres tipos de cordero estudiados. Estos resultados han abierto una posibilidad real de crear nuevos mercados, nuevas alternativas productivas, así como de recuperar algunos productos tradicionales ya abandonados. De hecho, la Asociación de Criadores (ATURA) apostó por la creación de la Marca Colectiva “Lechal Tensino”, cuyo reglamento ya ha sido desarrollado y aprobado. En los últimos años, el “Lechal Tensino” ha sido objeto de múltiples actividades de promoción en la zona de influencia de la raza, a través de jornadas gastronómicas, recetarios elaborados por diversos restaurantes, etc., creándose un interesante nicho de mercado para los productos ligados a esta raza.

## DIVERSIDAD GENÉTICA Y RELACIONES CON OTRAS RAZAS

El estudio se realizó, de una parte, para estimar la variabilidad existente en la raza Churra Tensina, y de otra, con objeto de detectar la posible existencia de un flujo genético con otras razas del tronco Churro explotadas en España (Calvo *et al.*, 2008). Para ello, se analizaron 309 animales pertenecientes a las razas Churra Tensina ( $n=65$ ), Churra Lebrijana ( $n=65$ ), Churra ( $n=60$ ),

Latxa (n=51), Merino (n=29) y Muflón (n=39). Las cuatro primeras razas pertenecen al tronco Churro, estando las Churras Tensina y Lebrijana en peligro de extinción. El Merino y Muflón fueron elegidos como grupos externos, para elaborar la reconstrucción filogenético de las relaciones entre razas. El Merino es un ovino de lana fina, que mantiene el censo más elevado de las razas explotadas en España. Todas las razas pertenecen a la especie *Ovis aries*, con excepción del muflón, ovino salvaje de la especie *Ovis musimon*.

Para llevar a cabo la caracterización genética de la Churra Tensina se utilizaron 28 microsatélites de ADN recomendados por la FAO, analizados en cinco multiplex ([ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1250e/annexes/Thematic%20Studies/CGRFA\\_WG\\_AnGR\\_3\\_04\\_Inf3.pdf](ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1250e/annexes/Thematic%20Studies/CGRFA_WG_AnGR_3_04_Inf3.pdf)): OARCP34, OARHH47, MAF65, ILSTS005, ILSTS011, BM1329, OARCP38, MAF209, OARFCB304, INRA63, MAF214, OARAE129, SRCRSP05, MAF70, OARVH72, BM1824, OARFCB128, OARJMP58, OARJMP29, DYMS131, OARFCB193, MCM140, SRCRSP01, ILSTS28, HUIJ616, OARFCB226, BM8125 y MAF33. Inicialmente se partió de 30 microsatélites, pero se desecharon dos: uno por su dificultad de amplificación en multiplex; y otro porque presentó una estimación de frecuencia de alelos nulos mediante el programa CERVUS 2.0 muy elevada (0.31), circunstancia que podría distorsionar los resultados finales del estudio.

Los 28 microsatélites mostraron un alto polimorfismo en la población de Churra Tensina con un número total de alelos por *locus* que varió entre cuatro (MAF65, BM1824 y OARFCB193) y 17 (OARFCB226). El análisis de diversidad alélica realizado con el programa CERVUS 2.0 mostró que el número de alelos encontrados por *locus* fue muy similar en las poblaciones estudiadas. Respecto de la distribución de las frecuencias alélicas para cada *locus*, se observó que los microsatélites analizados diferían entre sí y entre razas, en cuanto a la presencia de alelos predominantes. En varios *loci* algunos alelos fueron claramente dominantes (ILSTS005, ILSTS011, OARAE129), y en otros destacó la presencia de muchos alelos en frecuencias bajas (OARFCB304). Se determinó entonces la Heterocigosidad (H) mediante el cálculo de las frecuencias alélicas, y se compararon los valores

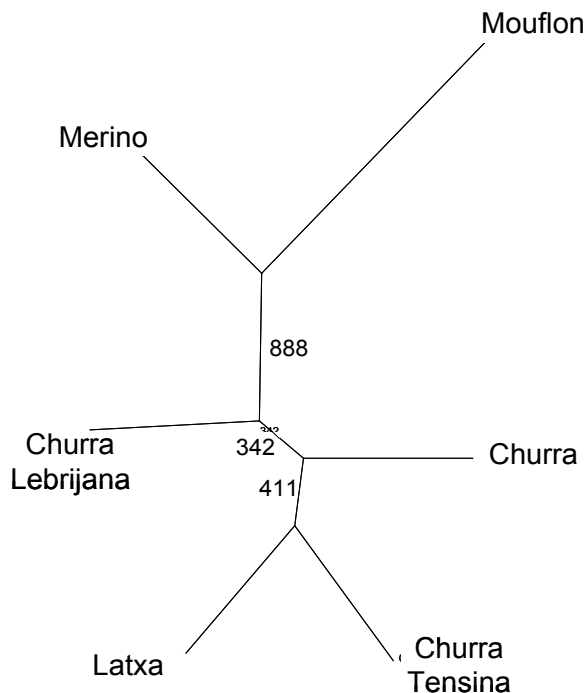
esperados ( $H_E$ ) con los observados ( $H_O$ ). La  $H_E$  fue mayor que la  $H_O$ , siendo los microsatélites *OARHH47* (0.784) y *OARJMP58* (0.820) los que presentaron una mayor heterocigosidad, y el microsatélite *OARAE129* (0.349) el menos informativo a pesar de presentar 8 alelos.

A continuación, se calculó el contenido de información polimórfica (PIC) para cada microsatélite, destacando los microsatélites *OARFCB304*, *MAF70* y *OARJMP29* como los más polimórficos (Calvo *et al.*, enviado). Esto permitió elegir los microsatélites más informativos para la raza Churra Tensina, con objeto de incluirlos en los test de parentesco y en el programa de conservación de la raza. La combinación de los microsatélites *BMI329*, *OARFCB304*, *MAF70*, *OARFCB128*, *OARJMP58*, *OARJMP29*, *MCM140*, *OARFCB226* y *MAF33* permitió obtener una probabilidad de exclusión de paternidad de 0.999.

La Heterocigosidad representa uno de los mejores estimadores de la diversidad genética, ya que se aplica a cualquier especie independientemente de su estructura reproductiva o genética, permitiendo hacer comparaciones. La población de Churra Tensina analizada presentó una heterocigosidad elevada (0.659) y un valor de consanguinidad bajo ( $F_{IS} = 0.041$ ), mostrando un alto reservorio de diversidad genética. La población presentó desequilibrio de Hardy-Weinberg, debido posiblemente a la estructuración de las poblaciones (Efecto Whalum), o por deriva genética o selección.

La población de Churra Tensina mostró siete alelos privados, dos de ellos en frecuencias significativas ( $p > 0.10$ ), siendo tales microsatélites muy útiles para asignar animales o autenticar productos asociados a la raza. La frecuencia media de alelos privados entre las seis razas analizadas fue de 0.047, siendo el número medio de alelos migrantes entre poblaciones de 1.54. En este sentido, se calcularon los índices  $F_{ST}$  de diferenciación génica entre poblaciones, encontrando los mayores valores en Muflón (0.180) y los menores en Latxa (0.069). Todos los test fueron significativos entre razas, y se observó una entidad genética propia de la Churra Tensina. A partir de estos datos se estimó el flujo genético entre poblaciones mediante el número de alelos migrantes, confirmando el pequeño o nulo flujo genético entre la población de Churra Tensina y el resto de

razas analizadas. Los resultados de distancias de Reynolds entre poblaciones fueron similares a los obtenidos para los valores  $F_{ST}$ , y se utilizaron para representar de forma gráfica las relaciones entre razas (Figura 4),



**Figura 4.** Representación de la distancia de Reynolds entre las diferentes razas. Los números representan la fiabilidad de clado sobre 1000 remuestreos, y la escala representa la distancia génica.

mediante el método de reconstrucción filogenética de neighbour-joining. Las mayores distancias genéticas se observaron entre el Muflón y el resto de razas analizadas. Finalmente, se analizó la posible estructuración de la raza, mediante el programa STRUCTURE. Todos los animales de la raza Churra Tensina se agruparon en un solo cluster, confirmando una vez más la identidad genética propia de la raza.

Como conclusión, podemos afirmar que la raza Churra Tensina presentó entidad genética propia, con niveles altos de variabilidad y bajos de consanguinidad. Los análisis de diferenciación genética mostraron la ausencia



de intercambio genético con otras razas del tronco churro analizadas. El análisis de reconstrucción filogenética agrupó a la Churra, Churra Tensina y Latxa en un cluster con una fiabilidad muy elevada. Las diferentes metodologías laboratoriales y analíticas puestas a punto permitirán instaurar un esquema de conservación de la raza Churra Tensina, maximizando la variabilidad genética y minimizando su consanguinidad.

Finalmente, para garantizar la preservación de la raza Churra Tensina a largo plazo se mantienen vitrificadas todas las muestras de DNA analizadas, así como 366 dosis de semen (de 17 moruecos) y 153 embriones (de 11 machos y 35 hembras), procedentes de animales pertenecientes a los diferentes grupos genéticos de resistencia a scrapie que existen en la actualidad.

## CONSIDERACIONES FINALES

Los diferentes estudios abordados desde el CITA corroboran la recuperación de una raza homogénea con entidad genética propia. La viabilidad de sus productos comerciales añadida a la continuidad de las explotaciones ganaderas en las que se encuentra son aspectos que garantizan la preservación de una raza adaptada a las condiciones climáticas adversas y de determinados sistemas ganaderos ligados a la tierra, y por ende sus beneficios económicos, ambientales y sociales, ampliamente reconocidos en las políticas agrarias y agro-ambientales, en las que se persigue promover un desarrollo rural sostenible, que permita el mantenimiento del paisaje y de la biodiversidad animal y vegetal.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo en memoria de nuestros colegas A. Bergua y R. Delfa. Los autores agradecen la colaboración de R. Revilla (Centro de Transferencia Agroalimentaria de Aragón); J. Folch, J.I. Martí, J.L. Alabart, I. Casasús, L. Cascarosa, S. Carrasco, E. Echegoyen, P. Sanchez, J. Casás, J. Ferrer, J.M. Acín y M. A. Pueyo (CITA de Aragón); R. Azón y R. Avellanet (ATURA). Trabajo

financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España y los Fondos Europeos para el Desarrollo Regional, a través de los proyectos INIA RZ2004-028, RZP2004-0008 y RTA2003-031. J. Álvarez-Rodríguez y A. Marcos-Carcavilla han disfrutado de sendas becas predoctorales INIA.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Rodríguez J., Calvo J.H., Revilla R., Casasús I., Sanz A. (2008). Caracterización estructural y racial de la raza ovina Churra Tensina. *FEA-GAS* 34: 135-143.
- Álvarez-Rodríguez J., Sanz A., Delfa R., Revilla R., Joy M. (2007). "Performance and grazing behaviour of Churra Tensina sheep stocked under different management systems during lactation on Spanish mountain pastures". En: *Livestock Science* 107: 152-161.
- Aparicio G. (1960). *Zootecnia especial. Etnología compendiada*. Imprenta moderna, Córdoba, España.
- Avellanet R. (2006). Conservación de recursos genéticos ovinos en la raza Xisqueta: Caracterización estructural, racial y gestión de la diversidad en programas *in situ*. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, 282 pp. España.
- BOA (2001). Decreto 265/ 2001, de 6 de noviembre, del Gobierno de Aragón, por el se crean los Libros Genealógicos de las razas ovinas Cartera, Churra Tensina, Maellana, Ojinegra de Teruel y caprina Moncaína.
- BOE (1997). Real Decreto 1682/1997 de 7 de noviembre, por el que se actualiza el Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España.
- Calvo J.H., Álvarez-Rodríguez J., Avellanet R., Marcos-Carcavilla A., Serrano M., Sanz A. (2008). Genetic diversity of Churra Tensina breed sheep, and relationship with other Churra group breeds using microsatellites. XXXI Conference of the International Society for Animal Genetics (ISAG 2008). Amsterdam (Holanda), 20-24/07/2008. Póster 5019.
- Calvo J.H., Álvarez-Rodríguez J., Marcos-Carcavilla A., Serrano M., Sanz A. (2011). "Genetic diversity in the Churra tensina and lebrijana endangered Spanish sheep breeds and relationship with other Churra group breeds and Spanish mouflon". En: *Small Ruminant Research*, 95(1): 34-39.

- Carrasco S., Ripoll G., Sanz A., Álvarez-Rodríguez J., Panea B., Revilla R., Joy M. (2009). "Effect of feeding system on growth and carcass characteristics of Churra Tensina light lambs". *Livestock Science* 121: 56-63.
- FAO (1996). Domestic Animal Diversity Information System, <http://www.fao.org/dad-is/>, FAO, Rome, Italy.
- Olleta J.L. (1988). Estudio etnológico y fisiocootécnico de la raza ovina Churra Tensina del Pirineo Aragonés. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 374 pp. España.
- Real Decreto 54/1995, de 20 de enero (BOE nº 39, de 15 de febrero de 1995). Normas mínimas sobre protección de los animales en el momento de su sacrificio o matanza.
- Riedel J.L., Casasús I., Bernués A. (2007). "Sheep farming intensification and utilization of natural resources in a Mediterranean pastoral agro-ecosystem". *Livestock Science* 111: 153-163.
- Romero F., Siles A., Alcalde M.J., Peña F., Valera M., Molina A. (2007). Caracterización etnológica de la raza ovina Churra Lebrijana. Producción ovina y caprina nº XXXII SEOC (Ed. Conselleria d'Agricultura i Pesca, Govern de les Illes Balears), pp. 171-174.
- Russel A.J.F., Doney J.M., Gunn R.G. (1969). "Subjective assessment of body fat in live sheep". En: *Journal of Agricultural Science* (Cambridge) 72: 451-454.
- Sánchez-Belda, A. (1964). Ficha para la valoración de los ovinos. AYMA. 3. Vol. V: 159-173.
- Sanz A., Álvarez-Rodríguez J. (2008). Luteal function during the first breeding and non-breeding seasons in spring-born Churra Tensina ewe lambs. 12th Conference of European Society of Domestic Animals Reproduction (ES-DAR). Utrecht (Holanda), 19-22/11/2008. *Reproduction in Domestic Animals* 43 (5): 98.
- Sanz A., Álvarez-Rodríguez J., Cascarosa L., Ripoll G., Carrasco S., Revilla R., Joy M. (2008). "Carcass characteristics of the commercial types of suckling lamb, light lamb and castrated lamb of Churra Tensina breed". En: *ITEA* 104 (1): 42-57.
- Sierra Alfranca I. (2002). Razas aragonesas de ganado. FEOGA-CAI-Gobierno de Aragón.



# PRODUCCIÓN DE OVINO LECHERO EN EL PAÍS VASCO: EVOLUCIÓN RECIENTE Y SOSTENIBILIDAD DE UN SISTEMA GANADERO

*I. Beltrán de Heredia, B. Díez-Unquera,  
N. Mandaluniz, E. Ugarte, R. Ruiz-Santos*

**RESUMEN** El sistema de producción de ovino lechero en la Comunidad Autónoma del País Vasco se basa en la utilización de las razas autóctonas Latxa y Carranzana, alimentadas en base a pastos y forrajes producidos en los pastizales de valle en invierno y primavera, y de montaña en verano y otoño. El estado sanitario, la selección y mejora que se realizan desde hace 30 años, y la estructuración del sector, han permitido mejorar y tecnificar el propio sistema productivo, dando como resultado un producto de gran calidad y prestigio gastronómico como es el queso con denominación de origen Idiazabal. Además, los ganaderos se han erigido en profesionales que a través de la actividad económica que generan, a menudo gozan de reconocido prestigio social. Sin embargo, el escaso atractivo del sector agroganadero para los jóvenes, la intensificación del sistema y la disminución del pastoreo, el escaso valor económico que aportan otros productos como la carne, la lana o la leche líquida, y los conflictos existentes con la fauna silvestre (lobo y buitre), ponen en riesgo la sostenibilidad del sistema.

**Palabras clave:** sistemas, ovino lechero, queso, sostenibilidad

**SUMMARY** The dairy sheep system in the Autonomous Community of the Basque Country is based on the Latxa and Carranzana local breeds fed on pastures and forages produced either in

1 NEIKER Tecnalia. Granja Modelo de Arkaute, P.O. Box 46. 01080 Vitoria-Gasteiz, España.  
ibeltran@neiker.net

the lowlands during spring or in the mountain areas later in summer and autumn. The production system has been improved during the last 30 years due to the implementation of several programmes regarding health and sanitary issues, the breeding scheme, adoption of technology, as well as a process of structuration and organisation of the whole professional sector. As a consequence, a high-quality cheese is produced, branded with the Protected Denomination of Origin “Idiazabal” since 1987. There are also prestigious farmers that can enjoy certain social recognition and a suitable level of incomes for their activity. However, there are certain issues that threatens the evolution and even the sustainability of the system such as the following: agriculture and livestock activities hold low appeal to young people; intensification trends and decrease in grazing practices; low prices paid to farmers for raw milk, lamb and wool; and lately, the existing conflicts with wild fowl (mainly wolfs and vultures).

**Key-words:** system, dairy sheep, cheese, sustainability

## INTRODUCCIÓN

La producción de ovino lechero en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) se ha desarrollado sobre la base de razas ovinas autóctonas como son la Latxa (en sus variedades Cara Rubia o Cara Negra) principalmente, y en menor medida la Carranzana. Dichas razas se han criado en explotaciones familiares en este entorno durante cientos de años y por tanto se encuentran perfectamente adaptadas a las condiciones existentes. Su alimentación se basa en los recursos naturales locales (praderas, pastizales, matorral) localizados tanto a nivel de valle como en zonas de montaña (Figura 1).

Se ha originado por tanto un sistema de producción ligado al territorio que tradicionalmente ha implicado el movimiento de los rebaños en busca de los recursos forrajeros estacionales según se iban produciendo a diferentes altitudes. La producción de leche se destina mayoritariamente a la producción de un queso de alta calidad y reconocido prestigio, como es el queso con Denominación de Origen Protegida “Idiazabal”, destacando la transformación artesana que a menudo se realiza en las propias explotaciones familiares.

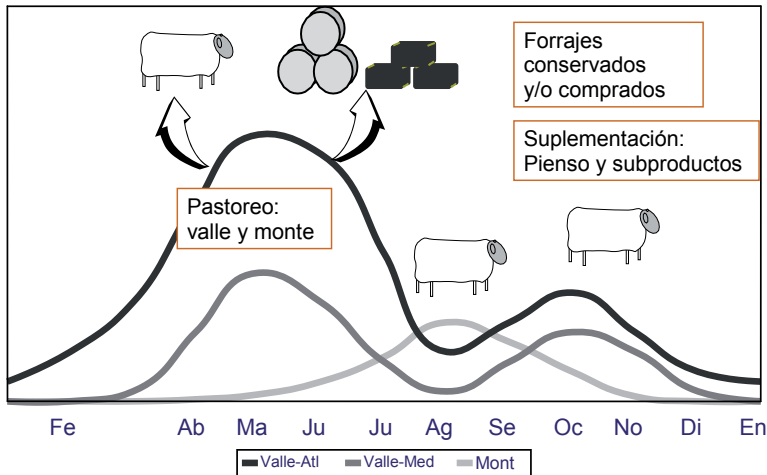


**Figura 1.** Pastoreo de rebaños de raza Latxa en primavera.

Como consecuencia de las particularidades de estas razas ovinas (Urarte y col., 1990; Gabiña y col., 1990) y especialmente su comportamiento reproductivo estacional (cubriciones en verano, partos al final del invierno), y de los ciclos de producción de biomasa herbácea (Albizu y col., 1998; Onaindia y col., 2002), a lo largo del tiempo se han configurado unos sistemas caracterizados también por una marcada estacionalidad productiva (Ruiz y col., 1997). De este modo la lactación, y por tanto la época de mayores necesidades nutritivas, coincide con la época de mayor oferta de hierba en las praderas de valale. Así, atendiendo a las prácticas de manejo de la alimentación, cabe diferenciar dos periodos (Oregui y col., 1997):

- Periodo de estancia en la explotación: Aproximadamente comprende desde el último mes antes del parto hasta el final del periodo de ordeño, y coincide con la invernada, es decir, con la época de parada de crecimiento vegetativo de la hierba (entre los meses de noviembre y marzo, dependiendo de la altitud). A su vez, se observan dos etapas claramente diferenciadas:
- *Estabulación permanente y alimentación en pesebre*: comprende aproximadamente el último mes antes del parto y el periodo de lactancia de los corderos, 1 mes. En este época la alimentación se basa en el uso de forrajes conservados de elaboración propia (heno o ensilado de hierba) y/o comprados (heno de alfalfa principalmente), y piensos concentrados.

- *Pastoreo de valle*: una vez transcurridos los rigores invernales comienza el periodo de crecimiento vegetativo de la hierba, y las ovejas empiezan a salir al pasto ya en plena campaña de ordeño. Se trata de un pastoreo a tiempo parcial en praderas naturales polífitas o parcialmente mejoradas con diferentes especies pratenses de gramíneas y leguminosas (*Trifolium spp.*, *Lolium spp.*, etc.). El número de horas que salen los animales aumenta a medida que lo hace la disponibilidad de hierba, lo que además determina una menor necesidad de suplementar en pesebre.
- Periodo de estancia en monte: Al final de la primavera o comienzo del verano, cuando la disponibilidad de hierba en las zonas de valle comienza a escasear y estando en ocasiones las ovejas todavía en lactación, los re-



**Figura 2.** Modelo de la dinámica de producción herbácea en los valles de la vertiente Atlántica, Mediterránea y de las zonas de monte del País Vasco.

baños solían acudir a zonas de mayor altitud (>800 metros), en las que la producción de biomasa herbácea se produce durante los meses de verano (Figura 2). En ellas se pueden identificar diferentes unidades de vegetación en función de la predominancia de especies herbáceas (*Agrostis spp.*, *Festuca spp.*, *Trifolium spp.*, etc) o arbustiva (*Erica spp.*, *Ulex spp.*, *Pteridium spp.*, *Prunus spp.*, etc.). La estrategia es aprovechar los recursos ubicados en zonas diferentes y en el momento en el que mejores condi-



ciones ofrecen para el pastoreo. En nuestro caso las distancias recorridas son de unos pocos kilómetros y al realizarse habitualmente a zonas comunales del mismo término municipal, se denomina trasterminancia. Se caracteriza por un manejo absolutamente extensivo dado que los animales pastan libremente en zonas de montaña sin recibir ninguna suplementación, y durante el cual tienen lugar las cubriciones por medio de monta natural, así como la mayor parte de la gestación. Este periodo finalizaba en torno de los meses de noviembre-diciembre con la llegada de las primeras nieves, y la consiguiente estabulación de los rebaños.

En los 30 últimos años, la actividad de ovino lechero ha evolucionado considerablemente a través de un proceso en el que es preciso destacar el papel central y el liderazgo que han ejercido las asociaciones de ganaderos con el apoyo de las instituciones (Figura 3) y una serie de centros especializados para llevar adelante programas de mejora (Urarte y col., 1999) relacionados con: I) sanidad animal (Diputaciones y Neiker); II) control lechero y mejora genética (Ardiekin, Confelac y Neiker); III) asesoramiento en alimentación y gestión técnico-económica (centros de gestión, IKT y Neiker); IV) calidad de productos (Kalitatea y Consejo Regulador de la

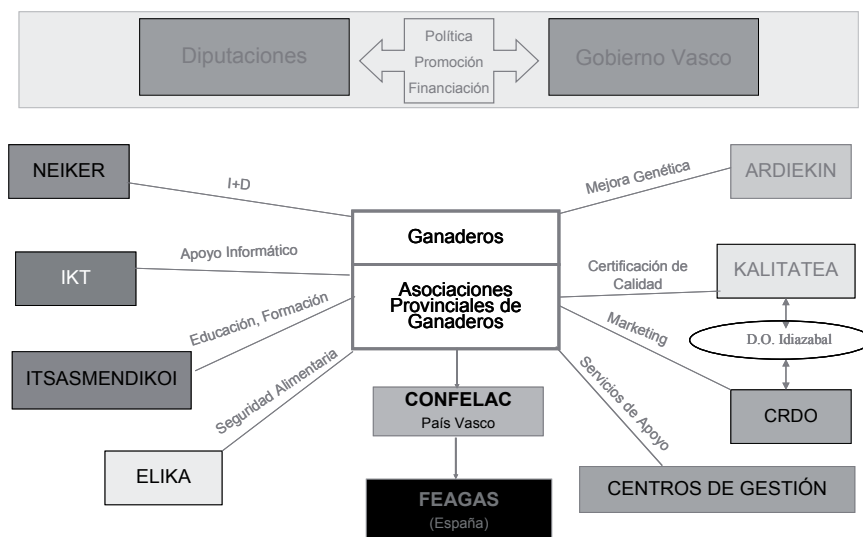


Figura 3. Organigrama y estructuración del sistema de ovino de leche en la CAPV.

Denominación de Origen – CRDO – “Idiazabal”); v) Formación (Itsas-mendikoi); vi) seguridad alimentaria (Elika). A continuación se tratará de describir los diferentes programas de mejora así como las principales instituciones implicadas en cada uno de ellos.

Las ganaderías que se encuentran dentro de este sistema organizativo constituyen aproximadamente el 20% de los rebaños profesionales, y suponen 25% del censo ovino lechero de este grupo.

Si bien es cierto que en líneas generales podemos decir que se trata de una actividad eficiente, productiva, rentable económicamente, viable desde el punto de vista técnico y con una cierta estabilidad y reconocimiento social, presenta, no obstante, una serie de riesgos y limitaciones (Oregui y Ruiz 2005). De hecho, el censo ovino de la población que participa de los programas de mejora ha disminuido 6% en los últimos cinco años como consecuencia de la problemática existente a nivel de relevo generacional, lo que supone la falta de continuidad de algunos rebaños llegada la edad de jubilación del titular de la explotación.

A continuación describiremos los aspectos más relevantes de estos sistemas.

## EVOLUCIÓN RECIENTE: PROGRAMAS DE MEJORA

**Sanidad.** Los servicios de ganadería de las Diputaciones Forales (son las instituciones a las que corresponde el gobierno y la administración a nivel de la provincia) son los competentes y encargados de ejecutar las campañas de saneamiento y vacunación obligatorias dentro de cada una de las tres provincias que constituyen la CAPV (Álava, Bizkaia y Gipuzkoa).

En el caso del ovino, desde el inicio de los años 80 se realiza anualmente la campaña obligatoria de brucelosis (*Brucella mellitensis*) y epididimitis contagiosa del morueco (*Brucella ovis*), sacrificando todo animal que serológicamente sea positivo. A partir de 1990 se prohibió la vacunación de las ovejas y moruecos frente a ambas enfermedades porque el nivel de seroprevalencia era inferior al 1%. En la actualidad se siguen realizando los

controles serológicos anuales de ambas enfermedades y se continúa con niveles próximos a 0%.

Por otra parte, también se ocupan del programa de vigilancia y control del prurigo lumbar o tembladera. Éste se lleva a cabo mediante el análisis de los animales sacrificados en los mataderos de la CAPV, así como la destrucción mediante incineración de todos los cadáveres de animales de ganado vacuno, ovino y caprino muertos en las explotaciones ganaderas.

Así mismo, junto a las Asociaciones ganaderas que intervienen en el esquema de mejora están desarrollando el Programa Nacional de Genotipado Ovino, cuyo objetivo es detectar y eliminar aquellos animales que pueden ser genéticamente susceptibles a padecer dicha enfermedad.

Como consecuencia del brote diagnosticado de lengua azul en España, a partir de 2007 se decretó la obligatoriedad de vacunar a todos los ovinos frente a los serotipos 1 y 8 de lengua azul, si bien en el año 2009 no se diagnosticó ningún caso positivo.

Además, desde los servicios de ganadería también se realiza el control de otras enfermedades como la agalaxia contagiosa, no detectándose ningún caso positivo.

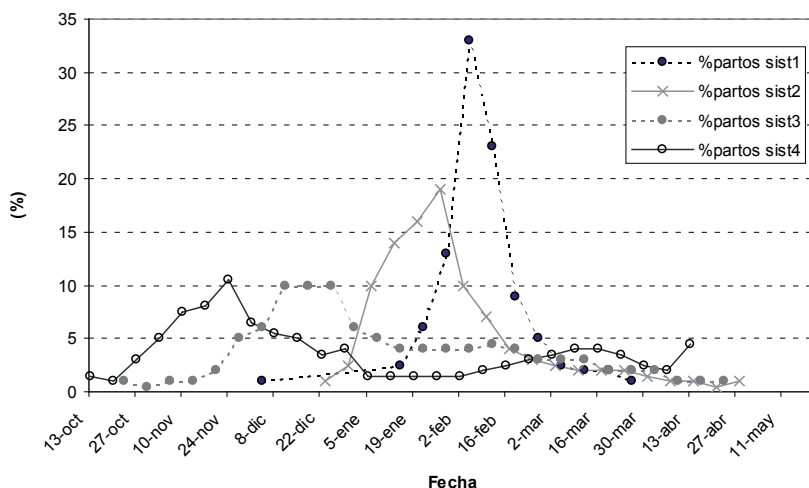
Desde el punto de vista voluntario, y siempre ligado a las Asociaciones Ganaderas que participan en el esquema de mejora Neiker-Tecnalia (el Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario) ha desarrollado junto a las Diputaciones Forales programas de estudio y control de varias enfermedades ovinas, entre las que podemos citar visna-maedi, adenomatosis pulmonar ovina, mastitis, fiebre Q, eczema facial, abortos ovinos y la enfermedad de la frontera.

### **Reproducción y genética**

El sistema reproductivo utilizado por los rebaños de raza Latxa es de un parto al año, coincidiendo el periodo de partos y lactación con el crecimiento de la hierba; es decir, la época de mayores necesidades nutritivas coincide con la época de mayor oferta de hierba en las praderas de valle (Ruiz y Oregui, 2005). Este hecho hace que en función de la localización

geográfica de los rebaños (costa o interior) y pequeñas modificaciones ligadas a estrategias productivas (queseros vs. lecheros o productores de leche), la fecha de inicio de los partos y la duración de la paridera puede variar considerablemente (Figura 4).

Los sistemas lecheros normalmente son más estacionales e inician la paridera el 16 de enero, es decir, 72 días más tarde que los sistemas



**Figura 4.** Distribución de la paridera según la orientación productiva: sistema 1 y 2 (generalmente lecheros) y sistemas 3 y 4 (generalmente queseros) (Ruiz, 2000).

queseros ubicados en la costa, y finalizan la paridera 92 días más tarde; 20 días antes que los sistemas queseros, los cuales tienen parideras de 6 meses (Ruiz, 2000). Este hecho también es debido a que los sistemas más estacionales presentan 9% de fertilidad de corderas y los sistemas queseros alcanzan hasta 54% de fertilidad de las mismas, y la fecha media de parto de este grupo de animales siempre es dos meses más tarde que la de las adultas.

El programa de mejora genética de las razas Latxa y Carranzana está basado en la selección en raza pura. El **objetivo de selección** es el aumento de

la producción lechera por oveja como medio para aumentar la rentabilidad económica de la explotación. El **criterio de selección** utilizado para ello es **la lactación tipo a 120 días**, es decir, la estimación de la leche producida desde el parto hasta el día 120 de lactación. Desde finales de los años 90 también se trabajan otros **caracteres** como es la **composición química de la leche**. La leche de oveja de las razas Latxa y Carranzana se destina casi exclusivamente a la producción de queso de alta calidad y reconocido prestigio que en el caso de la CAPV la mayoría de la producción está inscrita en la D.O. El rendimiento quesero está directamente ligado al contenido de grasa y proteína en leche, de forma que cuanto mayor sea el porcentaje de grasa y proteína más rentable será la leche y de aquí la importancia de la mejora de este carácter. Otro de los caracteres con los que se trabaja desde el año 2000 es la **morfología mamaria** (Fig. 3). La presencia de ubres con morfología no deseada puede distorsionar la rutina de ordeño, alargando de forma importante el tiempo de ejecución de esta tarea, así como causar una mayor mortalidad perinatal de los corderos por problemas de encalostamiento y amamantamiento. Además, supone un incremento de pérdidas por desvieje precoz ya que se acorta la vida productiva de esas ovejas. Dentro del objetivo de selección también se incluye el **incremento de la resistencia al prurigo lumbar o tembladera**.

Los tres pilares del programa de mejora genética son:

- Control lechero
- Inseminación artificial
- Valoraciones genéticas

#### *Programa de control lechero*

En la CAPV el programa de Control Lechero (CL) comenzó en 1982. Los controles se hicieron en un principio según el método completo A4 (un control mensual, controlándose los dos ordeños diarios: mañana y tarde) pero en 1985, después de una serie de estudios (Gabiña y col., 1985, 1986) se pasó a un método simplificado alternado AT (am-pm)

en el que se controla un único ordeño mensual alternando el control de los ordeños de mañana y tarde.

Las lactaciones se calculan utilizando el método de Fleischmann y se estima la lactación real (desde el parto al secado), la lactación ordeñada (lactación real menos la producida durante los 30 primeros días, considerados periodo normal de amamantamiento), y la lactación tipificada a 120 días.

A partir de 1999 se inició también el control lechero cualitativo y en 2001 se incorporó el control de morfología mamaria. También en 1999 se comenzó a utilizar en determinado grupo de rebaños el sistema AC de control lechero simplificado (control mensual del mismo ordeño diario y control de la cantidad de leche total ordeñada en el rebaño el día de control).

El control de morfología mamaria (Figura 5) se realiza de acuerdo con el sistema propuesto por De La Fuente y col. (1996).

En la Tabla 1 se incluyen los principales datos relativos al programa de control lechero desarrollado en la CAPV durante los últimos 5 años. Se



**Figura 5.** Morfología mamaria deseable en la raza Latxa.

observa un descenso de 6% en los rebaños que participan, si bien el tamaño del rebaño permanece constante en el periodo estudiado (363 ovejas), así como el número de lactaciones calculadas por rebaño (190 lactaciones). No obstante los parámetros productivos reflejan un incremento de 10% aproximadamente durante el periodo analizado, lo que supone aproximadamente 2% anual.

**Tabla 1.** Rebaños y ovejas en control en la CAPV. (Fuente: Confelac 2009).

	Año				
	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Rebaños</b>	152	156	154	145	145
<b>Número de ovejas &gt; 1 año</b>	55511	56076	54714	58006	52429
<b>Lactaciones calculadas</b>	28919	29651	29146	27634	27506
<b>Días de lactación</b>	139	139	136	132	133
<b>Lactación real</b>	166	175	182	185	186
<b>Lactación tipo</b>	141	149	153	155	153
<b>Leche ordeñada</b>	140	148	145	141	143

### *Inseminación artificial*

Las primeras inseminaciones en la CAPV se realizaron en 1985. El Centro de Inseminación Artificial (ARDIEKIN S.L.) se ubica en Arkaute (Álava), y reúne a los machos de testaje y mejorantes de las razas Carranzana, Latxa Cara Rubia y Latxa Cara Negra de la CAPV.

Hasta 1991 el criterio de selección de los machos fue la producción de sus madres, seleccionándolos de entre el 10% de las mejores productoras de cada rebaño. A partir de esta fecha el criterio de selección de los futuros reproductores varió escogiéndolos entre los hijos del 10% de las ovejas genéticamente mejor valoradas de toda la población y que previamente hayan sido inseminadas con machos mejorantes.

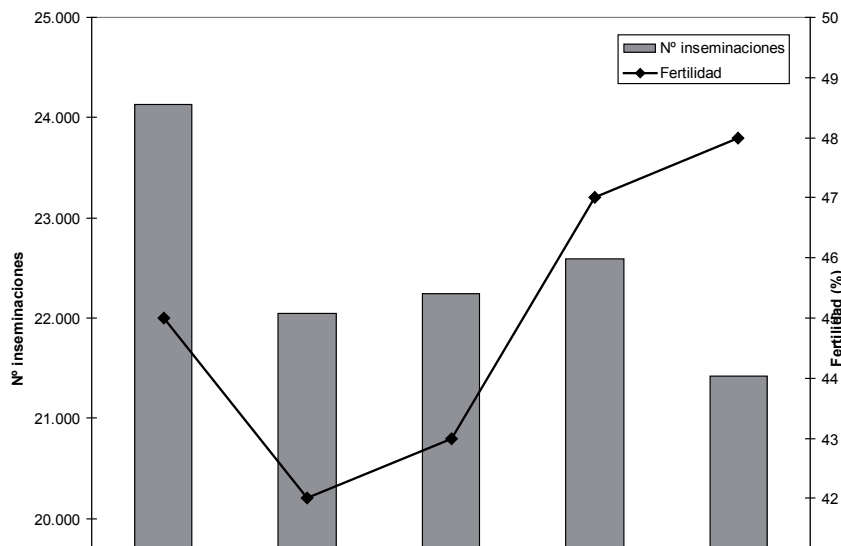
Los machos se incorporan al centro de inseminación con tres meses de edad y se ponen en testaje a la edad de 15-18 meses. De los machos en testaje se deben realizar 120 inseminaciones para poder tener un número mínimo de hijas y lactaciones que permitan que el macho pueda ser evaluado.

Las inseminaciones se realizan de forma dirigida con objeto de maximizar el progreso genético y evitar los problemas de consanguinidad hasta el

nivel de abuelos y favoreciendo así mismo el incremento de animales con alelos resistentes frente a EET. Para lograr este objetivo se utiliza un programa informático de acoplamientos dirigidos conectado a la base de datos de CONFELAC (Confederación de Asociaciones de Criadores de Ganado Ovino de raza Latxa y Carranzana) y con el que se trabaja desde 1996.

Las inseminaciones se realizan con semen refrigerado a través de la vía cervical. Aproximadamente 55% de las inseminaciones se realizan con semen procedente de machos en testaje y el 45% restante con dosis de semen procedente de machos mejorantes.

El número máximo de inseminaciones (Figura 6) fue de 24.000 en el año 2004, disminuyendo a partir de este momento hasta las 21.500 de 2008 debido al descenso del número de rebaños en el esquema. Respecto de la fertilidad obtenida, oscila entre el 40 y 50% si bien el mínimo se alcanzó en 2005 con 42%. Para mejorar la fertilidad es preciso ejercer una mayor presión sobre las condiciones exigidas a las ovejas a la hora de definir el lote de inseminación en base a la edad, intervalo parto-IA, producción lechera e historial reproductivo de las ovejas que lo componen.



**Figura 6.** Número de inseminaciones artificiales realizadas y fertilidad media obtenida. (Ardiekin, 2009).



El número máximo de inseminaciones (Figura 6) fue de 24.000 en el año 2004, disminuyendo a partir de este momento hasta las 21.500 de 2008 debido al descenso del número de rebaños en el esquema. Respecto a la fertilidad obtenida, oscila entre el 40 y 50% si bien el mínimo se alcanzó en 2005 con 42%. Para mejorar la fertilidad es preciso ejercer una mayor presión sobre las condiciones exigidas a las ovejas a la hora de definir el lote de inseminación en base a la edad, intervalo parto-IA, producción lechera e historial reproductivo de las ovejas que lo componen.

En el centro de inseminación de Ardiekin S.L. se incorporan anualmente alrededor de 150 corderos, de los cuales se ponen en testaje aproximadamente 50%. Todos ellos son sometidos a una prueba de filiación por la técnica de amplificación de marcadores genéticos de DNA (PCR).

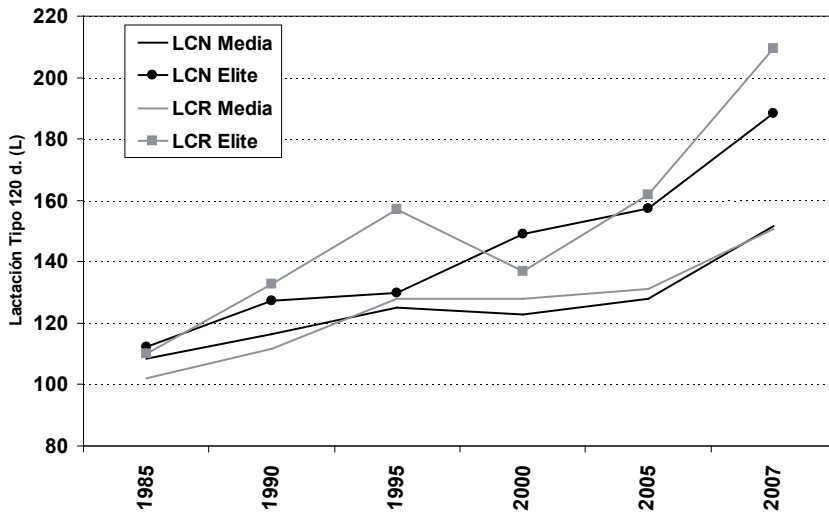
#### *Evaluación genética*

Los machos son evaluados por el test de progenie (*progeny-test*), para lo que se emplea la metodología de modelos mixtos con características BLUP (Best Linear Unbiased Prediction). Se utiliza el programa desarrollado por Misztal y col. (2002). Las valoraciones para los caracteres de producción (leche tipo) se realizan aplicando un modelo unicarácter, mientras que en el caso de los caracteres de composición y de morfología se aplican modelos multicarácter de cinco caracteres: porcentaje de grasa, porcentaje de proteína, kilogramos de grasa, kilogramos de proteína y leche tipo en el caso de los caracteres de composición, y profundidad e inserción de ubre, longitud y verticalidad de pezón y leche tipo para los caracteres de morfología mamaria.

Los análisis realizados de forma sistemática después de la evaluación genética de cada campaña indican que el progreso genético anual se sitúa entre el 2,5 y 3%, y el progreso fenotípico varía entre 1,8 y 4,5 l/ año (Figura 7).

#### **Producción y comercialización**

La leche producida por las razas latxa y carranzana se transforma prácticamente en su totalidad en queso. Este queso es susceptible de estar am-



**Figura 7.** Evolución de la lactación tipificada a 120 días en las razas Latxa Cara Negra (LCN) y Latxa Cara Rubia (LCR) en la población general (Media) y en el 10% de los rebaños mejores (Elite) (Confelac 2009).

parado bajo la denominación de origen (D.O.) Idiazabal (Figura 8) siempre que cumpla los siguientes requisitos:

- Proceder exclusivamente de leche de oveja latxa y/o carranzana.
- Estar elaborado con leche cruda, por medio de coagulación enzimática (cuajo).
- Ser un queso no cocido (sin sobrepasar los 38 °C) y prensado, de pasta dura.
- El periodo mínimo de curación debe ser de dos meses.
- Su tamaño debe ser pequeño o mediano, de 1 a 3 kilos, aunque puede ser comercializado en cuñas.
- Tener un contenido mínimo de materia grasa sobre extracto seco del 45%.
- Puede estar ahumado o sin ahumar.

La producción de leche destinada a elaboración de queso Idiazabal en la CAPV está en torno de los 5 millones de litros anuales (Figura 9), si bien el área geográfica de la D.O. Idiazabal abarca también la Comunidad



Figura 8. Queso con Denominación de Origen Idiazabal

Foral Navarra, de modo que la producción total se encuentra entre 7,7 y 7,9 millones de litros.

Los elaboradores de queso se pueden diferenciar en tres grupos: I) **pastor elaborador o elaborador artesanal**, que produce queso en la propia explotación con la leche producida por su rebaño; II) **pequeños elaboradores**, aquellos que siendo ganaderos o no, compran leche a otros pastores y elaboran menos de 100 toneladas/año; y III) **grandes elaboradores o elaboradores industriales**, compran leche a ganaderos y elaboran más de 100 Tn/año. En la CAPV existen 107 elaboradores de queso Idiazabal, lo que

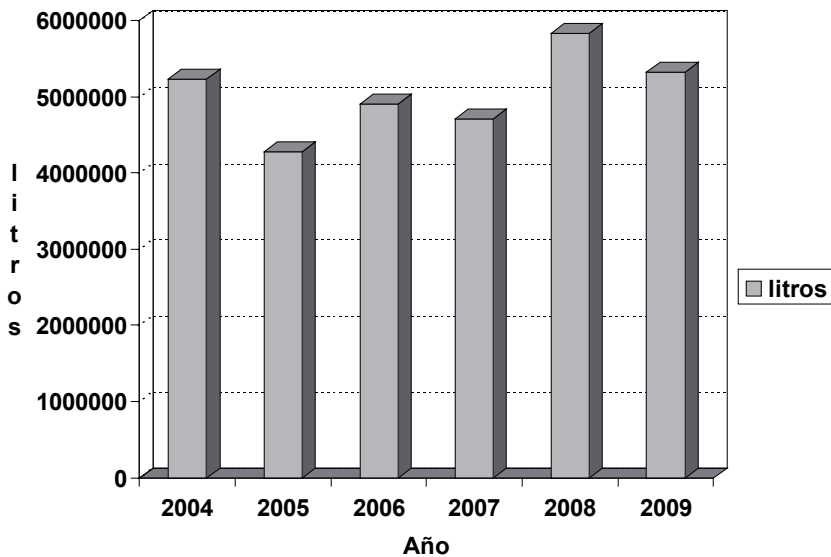
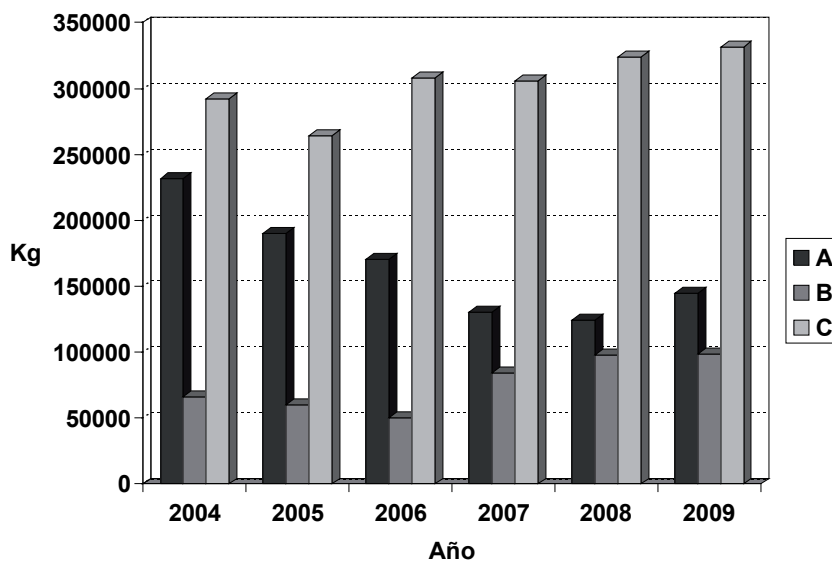


Figura 9. Litros producidos para la D.O. Idiazabal en la CAPV (Fuente Consejo Regulador de Denominación de Origen C.R.D.O. Idiazabal).

corresponde al 80% de los elaboradores de queso Idiazabal (el 18% restante se encuentra en la Comunidad Foral de Navarra), de los cuales 84 son pastores elaboradores, 22 pequeños elaboradores y 1 es un gran elaborador.

En la CAPV se está produciendo en torno de los 575.000 kg de queso con D.O.Idiazabal (Figura 10). Durante los últimos años se observa un cambio estructural en la industria agroalimentaria del queso, donde los grandes elaboradores, industriales propiamente dicho, producen 40% menos que en años precedentes, y este volumen se ha repartido entre los pequeños elaboradores y pastores elaboradores. De hecho, la producción realizada por los pequeños elaboradores ha aumentado en 33%, de tal manera que en la actualidad el impacto de los distintos tipos de elaboradores en relación con la producción total de queso es el siguiente: 58% lo realizan los pastores elaboradores, 25% elaboradores industriales y 17% pequeños elaboradores.

Las razones que soportan estos cambios tan importantes en el sector pueden ser la diferencia de rentabilidad que presentan las ganaderías que también elaboran queso respecto a las que venden leche, de tal manera que



**Figura 10.** Kilogramos de queso producidos por elaboradores industriales (A), pequeños elaboradores (B) y pastores elaboradores (C) en la CAPV (C.R.D.O. Idiazabal).

el margen neto por oveja puede ser de 2,6 a 3,5 veces mayor dependiendo del año. Sin embargo esta posibilidad no está al alcance de todas las explotaciones, ya que aquellas que elaboran queso presentan mayor demanda de mano de obra, estimándose este coste entre 1.4 y 2.5 veces mayor.

#### SOSTENIBILIDAD: RETOS ACTUALES DAFO

Como paso previo a la definición de los puntos críticos del sistema, y con el objeto de poder ponerlos en evidencia, se ha realizado un análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) de la situación general del sector en la actualidad.

Se trata de una metodología diseñada para el estudio de la situación competitiva de una determinada empresa en relación con sus características internas (debilidades y fortalezas) y al entorno en el que se enmarca, inicialmente su mercado (amenazas y oportunidades). Para realizar el análisis DAFO, se han aplicado metodologías participativas en las que a partir de una matriz inicial en la que se recoge la visión propia del sector, ésta se va sucesivamente contrastando, discutiendo, completando y modificando con diferentes expertos y agentes del sector entre los que cabe destacar:

- Investigadores (Neiker)
- Técnicos participantes de los siguientes programas
  - mejora genética de la raza Latxa
  - gestión técnico-económica
- Profesorado de la escuela de pastores de Aranzazu
- Ganaderos

En general, las principales debilidades y amenazas observadas en la actualidad, y por tanto los retos a los que deberá hacer frente el sistema de ovino lechero en el País Vasco en los próximos años, estarían relacionadas con:

- Los **aspectos sociológicos** relacionados con expectativas de una mejor calidad de vida, determinan la falta de relevo generacional y conllevan una creciente edad media de los ganaderos. En general, todas las actividades agrícolas gozan de un escaso atractivo como oportunidad profesional entre los sectores más jóvenes de la población, pero más aún, las actividades ganaderas basadas en el uso de recursos naturales y en prácticas de manejo más extensivas, como son la trashumancia o la trashumancia.
- La excesiva **intensificación de los sistemas** que conlleva una disminución de las prácticas de pastoreo, y en último término, pueden llegar a suponer incluso la sustitución de las razas autóctonas por otras foráneas más productivas, pero también con mayores necesidades nutricionales, explotadas en condiciones de estabulación permanente, y por tanto con mayores necesidades de instalaciones e infraestructuras. Si bien esta opción es de momento anecdótica debido en gran medida a las exigencias de la D.O. en relación con las razas aceptadas, un cambio en este sentido similar al ocurrido en otras denominaciones (ej. Roncal) podría ser determinante.
- La elaboración de forrajes propios con una calidad media-baja y la creciente **dependencia de insumos** (principalmente piensos y combustibles) con precios en aumento. Por una parte, la climatología propia de la CAPV es adecuada para la producción herbácea. Sin embargo, al mismo tiempo parece condicionar de manera negativa las labores de recolección (henificado y ensilado), lo que repercute en la calidad de los forrajes almacenados. Además, en este apartado conviene destacar que el acceso a la tierra como recurso y factor de producción en la CAPV supone una limitación debido a las características propias del territorio: orografía abrupta, alta presión poblacional y demandas de suelo para desarrollo urbanístico, industrial e infraestructuras. Esto supone la necesidad de recurrir a la compra de prácticamente 100% de los piensos concentrados, cuyo precio se encuentra sometido a la volatilidad de los mercados internacionales, y a una parte más o menos importante de los forrajes suministrados.

- La escasa **valorización económica** de los productos obtenidos. El precio ofrecido a los productores por los corderos permanece prácticamente estable desde hace años, oscilando de manera estacional a lo largo del año entre 4,5 y 7,5 €/kg en función de la oferta y la demanda; respecto a la carne de oveja, apenas existe mercado, por lo que su aporte a los ingresos de la explotación no son significativos. La leche líquida vendida a las centrales lecheras se ha ido incrementando por debajo del índice de precios al consumo durante la última década. Finalmente, el precio de la lana es prácticamente nulo (en torno a 10 cts €/ kg). Como resultado de todo ello, se considera que la capacidad adquisitiva de los productores ha ido reduciéndose. Cabe decir que con relación a las subvenciones su incidencia sobre los ingresos totales de la explotación oscila entre 15 y 25% dependiendo de varios factores (fertilidad, nivel de producción lechera de las ovejas, precio de venta de la leche o del queso, etc.).
- La inquietud de los ganaderos ante los **conflictos con la fauna salvaje** (lobo y buitre). El lobo desapareció del País Vasco en el último cuarto del siglo XIX, y si bien siguió visitando de forma esporádica el extremo occidental de la CAPV, desde los 90 se vienen observando los efectos de una población lobuna creciente. Este hecho ha supuesto la alteración y distorsión en las condiciones de producción, en la forma de trabajar y en el modo de vida de los pastores de esa zona para tratar de contrarrestar el riesgo que implica llevar a los rebaños a los pastos de montaña. Así, se estima que en la provincia de Álava se registraba durante el periodo 2000-2004 una media de un ataque de lobo al ganado doméstico cada cuatro días. De este modo, la presencia del lobo en los montes occidentales vascos representa un factor estructural, que altera directamente la vida económica y social de las explotaciones ganaderas extensivas. Por el contrario, las fortalezas, oportunidades y en definitiva los retos que presenta el sector se relacionan con:
  - Las condiciones naturales para la producción de pasto y la existencia de unas razas autóctonas adaptadas a las condiciones locales y a los sistemas de producción basados en el pastoreo. En este sentido, el reto que

deberá afrontar el sector será la valorización de las externalidades positivas que generan este tipo de sistemas ligados al territorio como moduladores del paisaje, la protección frente a incendios y el fomento de la biodiversidad (Aldezabal *et al.*, 2002).

- La existencia de un sector estructurado, con programas de mejora asentados y con resultados exitosos, debe facilitar la respuesta a las necesidades de I+D, asesoramiento, formación, etc. En particular el esquema de mejora genética se ha mostrado eficaz y versátil como para ir adaptándose a las diferentes necesidades surgidas (producción, calidad, facilidad de ordeño, resistencia a enfermedades, etc.). Y, por otro lado, la existencia de una Escuela de Pastores está siendo determinante para la incorporación de un número esperanzador de jóvenes en la actividad.
- La situación de mercado favorable para la transformación del queso, amparado por una D.O. reconocida y prestigiada como es el caso del “Idiazabal”. En la actualidad, la mayor parte de la producción se consume en el mercado local, es decir, dentro de la propia CAPV y Navarra, de modo que seguramente existe potencial para introducir el producto en otras zonas tanto en el ámbito nacional como internacional. Además, apenas se han explorado opciones de diversificación de productos lácteos con cierto valor añadido.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a los proyectos financiados principalmente por las diferentes instituciones (Gobierno de España, Gobierno Vasco y Diputaciones Forales de Álava, Bizkaia y Gipuzkoa), y llevados a cabo por ganaderos, empresas y agentes que componen la estructura organizativa del sector, a quienes agradecemos sinceramente la colaboración prestada. Igualmente se agradece al INIA por la financiación del proyecto RTA2006-00170-C03-01.



## BIBLIOGRAFÍA

- Albizu I., Mendarte S., Besga G., Rodríguez M., Amezaga I., Onaindia M. (1998). "Estructura y productividad de los pastizales calcáreos en el Parque Natural de Gorbeia (Bizkaia)". En: *XXIII Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia*. pp. 441-445. Vitoria-Gazteiz. 1998.
- Aldezabal A., García-González R., Gómez D., Fillat F. (2002). El papel de los herbívoros en la conservación de los pastos. *Ecosistemas 3* (URL:www.aeet.org/ecosistemas/investigacion6.htm).
- Ardiekin S.L. (2009). Actividad del centro de inseminación artificial y selección de las razas latxa y carranzana. Comunicación personal.
- Confelac (2009). Control lechero en las razas latxa y carranzana. Comunicación personal.
- Consejo Regulador de la Denominación de Origen Idiazabal (2009). Memoria de actividad. Comunicación personal.
- De la Fuente F., Fernández G., San Primitivo F. (1996). "A linear system evaluation for udder traits of Dairy ewes". *Livestock Production Science*, 45: 171-178.
- Gabiña D., Urarte E., Arranz J. (1985). Resultados obtenidos con distintos métodos de simplificación de control lechero cuantitativo en ovejas de raza Latxa y Carranzana. *ITEA* ( 5): 87-90.
- Gabiña D., Urarte E., Arranz J. (1986). "Métodos de simplificación de control lechero cuantitativo. Aplicación a las razas ovinas del País Vasco". *Investigaciones Agrarias: Producción y Sanidad Animal* (1): 259-270.
- Gabiña D., Urarte E., Arranz J., Arrese F., Sierra I. (1990). Las razas ovinas Latxa y Carranzana: III. Factores de variación de los caracteres de reproducción. *ITEA*, 86 (2), 93-112.
- Misztal I., Tsuruta S, Strabel T., Auvray B., Druet T., Lee D.H. (2002). "BLUPF90 and related programs (BGF90)". En: *7<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. CD-ROM Communication, 28-07.
- Onaindia M., Amezaga I., Mendarte S., Albizu I., Besga G. (2002). "Valoración de los recursos pascícolas en el Parque Natural de Aralar (País Vasco)". En: *Producción de pastos, forrajes y céspedes: actas XLII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos 6-10 de mayo de 2002*, Lleida, España. ISBN 84-8409-145-7, pp. 201-210.

- Oregui L.M., Garro J., Vicente M.S., Bravo M.V. (1997). Estudio del sistema de alimentación en las razas ovinas Latxa y Carranzana: Utilización de los pastos comunales y suplementación en pesebre. *ITEA*, (93A): 173-182.
- Oregui L.M., Ruiz R. (2005). "Dairy sheep systems and their efficiency in Mediterranean mountain areas". En: *Animal Production and Natural Resources Utilisation in The Mediterranean Mountain Areas*. Actas del XII Mediterranean Symposium HSAP-FAO, celebrado en Ioannina, Grecia 2003. EAAP Scientific Series no. 115, ISSN 0071-2477, 640 pages., pp: 235-241.
- Ruiz R., Oregui L.M., Bravo M.V., Urarte E. (1997). "A sustainable dairy livestock system in the Basque Country of Spain". En: *Livestock Systems in Rural Development, Proc. of the 1<sup>st</sup> Meeting of the LSIRD Network*, Nafplio. Grecia, pp. 151-153.
- Ruiz R. (2000). *Análisis de los factores de explotación que afectan a la producción lechera en los rebaños de raza Latxa de la CAPV*. Ed. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Serie Tesis Doctorales del Departamento de Agricultura y Pesca, nº 39, 328 pp.
- Ruiz R., Oregui L.M., 2005. "Implications of different farming typologies on the utilisation of mountain pastures in the Latxa dairy sheep system". En: *Animal Production and Natural Resources Utilisation in The Mediterranean Mountain Areas*. Actas del XII Mediterranean Symposium HSAP-FAO, celebrado en Ioannina, Grecia 2003. EAAP Scientific Series no. 115, ISSN 0071-2477, 640 pages, pp: 292-295.
- Urarte E., Gabiña D., Arranz J., Arrese F., Gorostiza P., Sierra I. (1990). Las razas ovinas Latxa y Carranzana: II. Descripción del comportamiento reproductivo de los rebaños en control lechero. *ITEA*, 86<sup>a</sup> (2): 93-112.
- Urarte E., Arranz J., Ugarte E., Arrese F., Oregui L.M., Bravo M.V., Ruiz R. (1999). Organisation of development structures in dairy Latxa (breed) sheep in the Autonomous Community of the Basque Country. En: "Systems of sheep and goat production: organisation of husbandry and role of extension services". Ed. CIHEAM, París (Francia). *Options méditerranéennes. Serie A.: Seminaires méditerranéennes*, 38: 255-262.

# PRODUCCIÓN DE ALIMENTO, FORRAJE Y SERVICIOS AMBIENTALES DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN YUCATÁN, MÉXICO

J.A. Caamal-Maldonado<sup>1</sup>, F. Casanova-Lugo<sup>1</sup>,  
A. González-Moreno<sup>1</sup>, J. Caamal-Caamal<sup>2</sup>, P. Xiu-Canché<sup>2</sup>,  
J. Navarro-Alberto<sup>3</sup> J.B. Castillo-Caamal<sup>1</sup>

**RESUMEN** El estado de Yucatán, México, enfrenta una problemática común de las regiones tropicales, derivada de la deforestación de la selva: numerosos sitios se transforman en extensas áreas para la agricultura y ganadería lo que limita la conectividad con los ecosistemas originales (fragmentación). A la par se genera una especialización de la producción, en particular con cultivos comerciales como el chile habanero (*Capsicum chinense* Jack), en los que se hace un uso desmedido de biocidas. Esto agrava el problema del deterioro ambiental en la región, por lo que se requieren opciones que reviertan el impacto sobre las zonas selváticas que aún persisten. Los sistemas agroforestales son una opción productiva basada en el conocimiento y manejo de las interacciones y procesos ecológicos. Estos sistemas contribuyen a disminuir el impacto sobre el ambiente: primero, a través de la captura de C por las propias plantas cultivadas y, por otro lado, por la reducción del uso de biocidas. En este capítulo se describen algunos resultados de una investigación sobre sistemas agroforestales con especies anuales alimenticias: maíz (*Zea mays* L.) y chile habanero (*C. chinense*) y leñosas forrajeras: huaxim *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.), pixoy

<sup>1</sup> Cuerpo Académico de Producción Animal en Agrosistemas Tropicales (CAPAAT).

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil Km. 15.5 CP. 97100 Mérida, Yucatán, México. Tel: 01(999) 9423200. emaldon@uady.mx

<sup>2</sup> Tesistas adscritos al CAPAAT de la Licenciatura en Agronomía, Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán. Antigua Carretera Mérida-Motul Km. 16.3. Tel: 01(999) 9124130.

<sup>3</sup> Cuerpo Académico en Ecología Tropical. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán.

(*Guazuma ulmifolia* Lam.) y moringa (*Moringa oleifera* Lam.). Se destaca la producción integrada de forraje de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera*, grano de maíz y fruto de chile habanero en estos sistemas diversificados. Además, la captura de C a través de las raíces y la biomasa aérea de las especies leñosas forrajeras indica el potencial que tienen estos sistemas para brindar servicios ambientales.

**Palabras clave:** *agroecología, captura de carbono, diversificación de cultivos, eficiencia productiva*

**ABSTRACT** The State of Yucatan, Mexico, faces a common problem in tropical regions, originated from the deforestation of large areas. Numerous sites are transformed into large areas for agriculture and livestock production, which limits connectivity to the original ecosystems (fragmentation). At the same time it generates specialization of agricultural systems, particularly in crops such as habanero pepper (*Capsicum chinense* Jack), with an excessive use of biocides. This aggravates the problem of environmental degradation in the region, so options to reverse the impact on remaining forested areas are required. Agroforestry Systems are a productive option, based on the knowledge and management of interactions and ecological processes. These systems help to reduce the impact on the environment: first, through the capture of C for their own crops and, on the other hand, by reducing the use of biocides. The present work describes some results of research on Agroforestry Systems with annual food species: maize (*Zea mays* L.) and habanero pepper (*C. chinense*) and fodder trees: huaxim (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.), pixoy (*Guazuma ulmifolia* Lam.) and moringa (*Moringa oleifera* Lam.). It highlights the integrated production of forage *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* and *M. oleifera*, with crops like corn and habanero pepper in these diversified systems. In addition, the C sequestration through the roots and shoots of woody forage species indicates the potential of these systems to provide environmental services.

**Keywords:** *agroecology, carbon sequestration, crop diversification, production efficiency*

## INTRODUCCIÓN

La ganadería es la base de subsistencia de la mayor parte de la gente que habita las áreas rurales en el ámbito mundial. La FAO (2007) reporta que en 114 países el 60% de los hogares en dichas regiones posee ganado. La producción ganadera aporta beneficios substanciales a la sociedad en forma de alimento, ingresos, nutrientes, empleo, seguridad, tracción, vestimenta y otros. En particular, esta actividad contribuye con 40% del valor global de la producción agropecuaria y genera bienes y alimentos para casi un billón de personas; aún más, aporta 15% de la energía que proviene de los alimentos además de brindar aproximadamente 30% de la proteína en la dieta (FAO, 2009; Herrero *et al.*, 2009).

No obstante, para obtener tales beneficios se usa una cantidad significativa de tierra, nutrientes, forraje, agua y otros insumos, lo que provoca una presión creciente sobre los recursos naturales (Herrero *et al.*, *ibid*) y tiene un alto costo ambiental. Esto se traduce principalmente en su contribución al cambio climático global, en la deforestación que provoca (FAO, 2010a y b; Díaz-Gallegos *et al.*, 2010) y en la pérdida de la biodiversidad (FAO, 2006a).

Su repercusión sobre el clima se da por la sustitución de la vegetación original por pastos, con lo que se limita la captura de C, o por la emisión directa por los animales de gases de efecto invernadero (GEI), como el metano (FAO, 2006b; FAO, 2010b). Por sí misma, la ganadería produce el 18% de las emisiones de GEI atribuibles al hombre (Steinfeld *et al.*, 2006; Herrero *et al.*, 2009).

Tan solo el sector lechero aporta casi 4% de la emisión de GEI relacionada con las actividades antropogénicas. De ese total, el metano alcanza casi 52%, tanto en países desarrollados como en los en vías de desarrollo (FAO, 2010b). Por su parte, el óxido nitroso llega a 27% de las emisiones gaseosas en esos primeros países y a 38% en los segundos. Finalmente, el porcentaje de CO<sub>2</sub> emitido es mayor en los países desarrollados (21%), que en los que están en vías de serlo (10%). Este reporte de la FAO abarca la mayor parte de los sistemas de producción de lácteos, desde los rebaños nómadas hasta las operaciones intensificadas. Se enfoca en la cadena productiva en su

totalidad, lo que incluye la producción, el transporte de insumos, el procesamiento de la leche y sus productos y el empaquetamiento de los mismos, así como la distribución final a los sitios de consumo.

Pero el impacto de la producción ganadera sobre el ambiente no solo se ubica en la emisión de contaminantes, aunado a ello se afecta de forma considerable la vegetación original en los ecosistemas. De hecho, los sistemas pastoriles y silvopastoriles, ocupan 45% de la superficie terrestre utilizable (Herrero *et al.*, 2009). El pastoreo en particular ocupa 26% de la superficie terrestre libre de hielo y la producción de ganado consume el 33% de la superficie destinada a actividades agrícolas (FAO, 2010a). Más aún, existe la tendencia de convertir una mayor superficie de bosques en pasturas para el ganado vacuno y de abrir grandes extensiones para cultivos como la soya, que sirven como alimento a cerdos y aves a escala industrial (Steinfeld *et al.*, 2006). De continuar el incremento en dicha superficie se puede generar una mayor deforestación en algunos países (FAO, 2006a).

Lo antes descrito nos permite entender por qué en la actualidad casi 90% del territorio ocupado originalmente por ecosistemas naturales en el mundo está afectado por las actividades humanas (Gliessman, 2002). Tan solo en las regiones tropicales húmedas y subhúmedas la conversión de la selva en tierras para la producción agrícola y pecuaria ha dejado 3.5 millones de km<sup>2</sup> de tierras degradadas (ITTO, 2002). En tal escenario, los escasos ecosistemas que podrían considerarse poco perturbados están dispersos dentro de un paisaje dominado por terrenos dedicados a la producción de alimentos (Shennan, 2008), principalmente en forma de monocultivos y ganadería. Tal fragmentación limita la conectividad entre esos relictos de vegetación natural lo que tiene impactos sobre la biodiversidad y sobre los procesos ecológicos (Vandermeer y Perfecto, 2007ab; Tejeda-Cruz *et al.*, 2010).

Lo anterior es aplicable en la escala regional de México, en donde además se dan algunas particularidades. En efecto, en las zonas tropicales del país, de forma específica en Yucatán, la problemática con la ganadería impacta de forma importante en el ambiente. De hecho, en Yucatán el manejo agropecuario ha seguido la misma secuencia que se presenta en la región

sureste del país: a) extracción de árboles maderables, b) siembra de cultivos anuales, y c) establecimiento de potreros. Así, se ha reducido tanto la diversidad de especies y variedades cultivadas como la de la vegetación circundante, al no permitirse que ésta se desarrolle lo suficiente (Caamal y Armendáriz, 2002).

El problema inicia con la pérdida de las bases que hacían sostenibles a los sistemas tradicionales de cultivo. En específico, en el sistema de agricultura itinerante conocido como roza-tumba-quema (milpa en México), se han modificado los patrones de producción, al pasar de cultivos en asociación (policultivos) a un sistema en monocultivo (Arias, 1992). Ello genera disminución en los rendimientos y problemas con las arvenses (Caamal *et al.*, 2001).

Aunada a la problemática de los sistemas agrícolas de subsistencia se presenta la situación particular de los cultivos comerciales. En Yucatán, por ejemplo, la producción de chile habanero (*Capsicum chinenses*) es un claro ejemplo de una agricultura altamente dependiente de insumos externos (Morales y Magaña, 2001). En efecto, la nula diversificación inter e intraespecífica de dicha hortaliza la hace altamente susceptible al ataque de plagas, en específico la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*); ello genera el uso excesivo e indiscriminado de biocidas (Morales y Magaña, *ibid*).

El tercer factor en la problemática agropecuaria en Yucatán, pero no menos importante, es la producción ganadera. Al igual que en la escala global, se transforman ecosistemas diversos (en los cuales hay predominancia de especies arbóreas), en praderas (FAO, 2009; Díaz-Gallegos *et al.*, 2010). Así se limita la continuidad de tales ecosistemas al provocar su aislamiento (fragmentación) dentro de una gran extensión de potreros (Morales y Magaña, 2001).

El impacto de la producción agropecuaria sobre el ambiente en Yucatán hace evidente la necesidad de acciones emergentes para lograr que los agroecosistemas tropicales sean sostenibles y jueguen un papel fundamental en la protección y restauración de la biodiversidad regional. En tal sentido, los sistemas agroforestales pueden jugar un papel importante,

en particular porque son esquemas productivos integrales. En ellos se asocian tanto especies arbustivas y arbóreas con cultivos, además de incorporar algunas especies animales (Brienza y Gazel, 1991; Nair, 2004). Además, en ellos se propicia el reemplazo de insumos ajenos a los agroecosistemas, como los fertilizantes, por la acumulación de nutrientes en la biomasa y en el suelo (Montagnini, 2000), con lo que pueden reducirse los costos de producción. Al mismo tiempo, estos sistemas diversificados pueden contribuir a restaurar los servicios ambientales en las áreas degradadas (Herrero *et al.*, 2009), en particular a través de la captura de carbono por las especies leñosas cultivadas (Chazdon, 2008; Casanova *et al.*, 2010a).

En México existe una gran diversidad de especies vegetales con alto potencial para ser incorporadas a los sistemas de producción agroforestal (Sosa *et al.*, 2004). Al respecto, los trópicos se caracterizan por poseer la mayor diversidad de especies vegetales que pueden ser utilizadas para la alimentación animal, tal es el caso de *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum* Jacq, *Brosimum alicastrum* Sw. y otras del género *Leucaena* y *Acacia* (López *et al.*, 2008; Villa-Herrera *et al.*, 2009; Casanova *et al.*, 2010b).

Así, las especies arbóreas y arbustivas nativas son una buena opción para superar la problemática de baja disponibilidad y calidad del forraje en la época seca, así como para mejorar los índices productivos (Payne, 1985; Ku-Vera *et al.*, 1999). De hecho, el valor nutricional de las hojas y frutos de las especies arbóreas perennes es superior a las herbáceas; además, su uso contribuye a la reforestación y restauración de áreas degradadas por las actividades ganaderas y agrícolas (Gómez *et al.*, 2006).

## SISTEMAS AGROFORESTALES FORRAJEROS EN YUCATÁN

En este documento se presentan los principales resultados de un estudio sobre sistemas agroforestales integrados con especies arbustivas forrajeras y cultivos anuales. El trabajo inició en un área experimental situada en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA) de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), en el año 2004 y ha continuado hasta la



fecha. El sitio presenta suelos someros y pedregosos (litosoles) (Bautista *et al.*, 2005), bajo condiciones de clima tropical subhúmedo ( $Aw_0$ ), con una precipitación promedio anual de 953 mm, concentrándose el 82% de las precipitaciones de junio a octubre (García, 1988).

La superficie experimental de 0.5 ha estuvo originalmente cubierta por vegetación secundaria de 5 años y, de forma posterior, se estableció allí una pradera de pasto Taiwán (*Cynodon nlemfuensis*). Una vez que la vegetación fue removida fue posible hacer la caracterización del sitio en cuanto a pedregosidad y profundidad del suelo; ello permitió reconocer tres zonas particulares, que conformaron cada una un bloque en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones.

En una primera etapa, en junio de 2004, se establecieron en dicho sitio especies arbustivas forrajeras, de acuerdo con los siguientes tratamientos:

- *L. leucocephala*
- *M. oleifera*
- *G. ulmifolia*
- *L. leucocephala* - *Moringa oleifera*
- *L. leucocephala* - *Guazuma ulmifolia*

Las especies arbóreas acompañantes de *L. leucocephala* han sido reportadas en la literatura como aptas para brindar servicios productivos y ambientales. En particular *G. ulmifolia* se utiliza para producir forraje y para la restauración de tierras degradadas (Wishnie *et al.*, 2007; Melotto *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2010). Además, la selección de dichas especies en este estudio se basó en las siguientes características: crecimiento rápido; elevada producción de biomasa; capacidad para enraizar a profundidad; facilidad de establecimiento; tolerancia a la poda continua para la obtención de forraje, además de una alta capacidad de rebrote; preferencia del forraje por los animales, rumiantes en este caso; amplia adaptación a las condiciones locales, y tolerancia al estrés hídrico, por el largo periodo de sequía anual típico del clima de la región (Solorio, 2005).

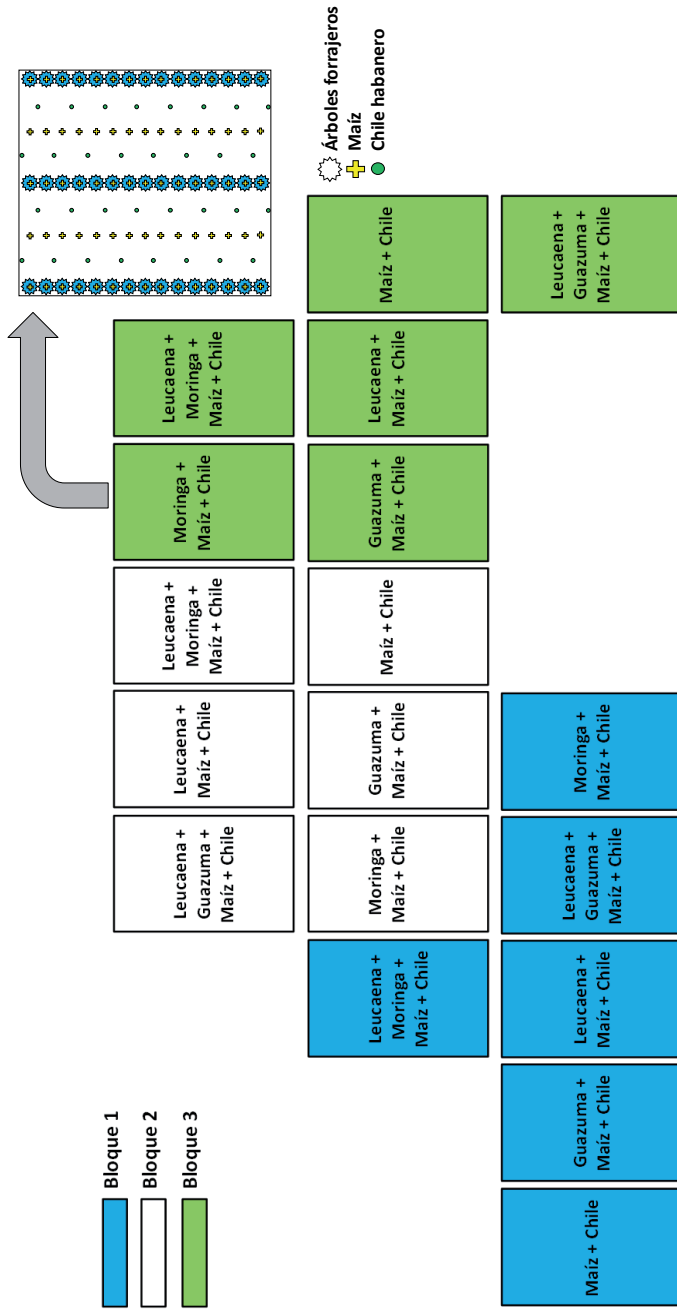
Las plántulas de los árboles fueron producidas en vivero a partir de semillas que fueron colocadas en bolsas de polietileno. Cuando las plántulas alcanzaron 30 cm de altura fueron trasplantadas en las unidades experimentales respectivas, de acuerdo con una aleatorización inicial de los tratamientos en el campo. Cada unidad experimental tuvo una superficie de 40 m<sup>2</sup>. El arreglo de las plántulas dentro del sistema fue de tres hileras de árboles (según el tratamiento) con una distancia entre hileras de 2 m y de 0.5 m entre las plantas. El trasplante se hizo en líneas orientadas este-oeste para favorecer la exposición de todas las plántulas a la luz solar.

En el caso de los tratamientos donde se asociaron dos especies arbóreas se colocaron las plántulas en la misma poceta: una plántula de huaxín por una plántula de pixoy o moringa, según correspondiese. Así, aunque hubo una mayor cantidad de árboles en esos tratamientos la densidad de cada especie en asociación fue similar a aquella cuando la planta creció sola (200 plántulas de cada una).

A finales de enero de 2005 se realizó una poda de homogenización, a 1.00 cm del suelo. Posteriormente, en febrero de 2005 se asoció maíz (*Zea mays* L.) Nal Xoy (variedad criolla) y chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con las especies arbóreas dentro de cada unidad experimental, con lo que se generó un sistema agroforestal de tipo cultivo en callejones. Los tratamientos definitivos fueron de la siguiente manera:

1. Maíz + chile habanero (control)
2. *L. leucocephala* + maíz + chile habanero
3. *M. oleifera* + maíz + chile habanero
4. *G. ulmifolia* + maíz + chile habanero
5. *L. leucocephala* + *Moringa oleifera* + maíz + chile habanero
6. *L. leucocephala* + *Guazuma ulmifolia* + maíz + chile habanero

El maíz fue sembrado en cinco hileras intercaladas entre las líneas de árboles, a una distancia de 1 m entre surcos y a 50 cm entre plantas; se colocaron tres semillas por sitio para luego dejar las dos más vigorosas.

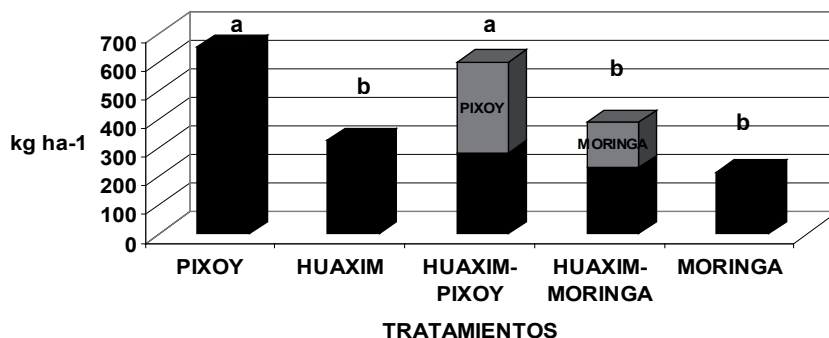


**Figura. 1.** Distribución de tratamientos de árboles forrajeros asociados con maiz y chile habanero en un diseño de bloques completos al azar, en un sistema agroforestal en Xmatkuil, Yucatán.

Asimismo, el chile habanero fue sembrado por trasplante en zig-zag dentro de las hileras del maíz, a una distancia de 50 cm entre hileras y 70 cm entre plantas de chile. Cabe destacar que el chile habanero fue incorporado casi al final del ciclo de cultivo del maíz, cuando estas últimas habían espigado. Las parcelas quedaron ubicadas espacialmente como se muestra en la Figura 1.

### Producción de forraje de especies leñosas

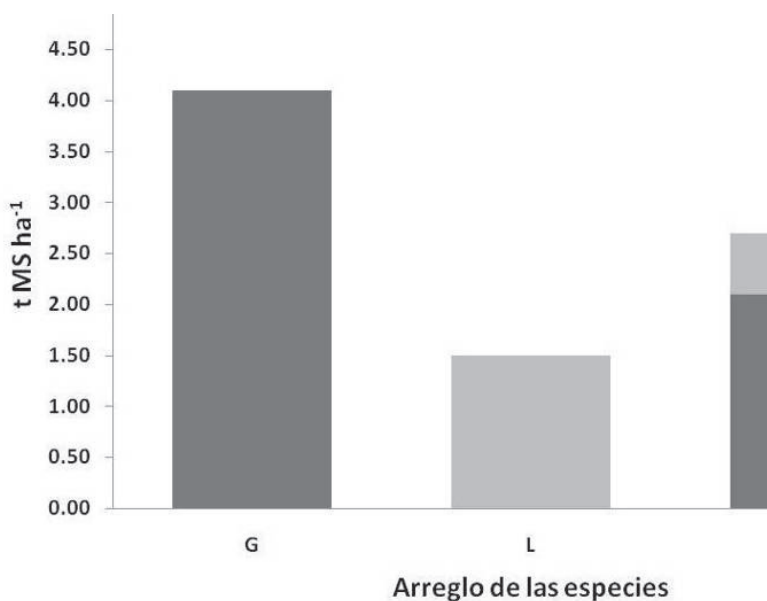
En los sistemas agroforestales integrados con especies forrajeras y alimenticias se encontró que la producción de biomasa forrajera (hoja y tallo comestible) en el año 2007 fue mayor cuando *G. ulmifolia* creció en monocultivo y asociada con *L. leucocephala* (Figura 2).



**Figura 2.** Producción total de biomasa forrajera (peso seco) de árboles asociados en un sistema agroforestal. Ciclo 2007. Moringa= *Moringa oleifera*, Huaxim= *Leucaena leucocephala* y Pixoy= *Guazuma ulmifolia* Fuente: Caamal- Caamal, 2010.

Por otra parte, al asociar la leguminosa con *G. ulmifolia* el rendimiento de esta última disminuyó hasta 50% (316.8 kg/ha), con respecto de lo obtenido en cultivo puro. *L. leucocephala* presentó un nivel similar de rendimiento ya fuese en monocultivo o asociado con las otras especies forrajeras (Figura 2). Lo anterior significa que la leguminosa ejerce una interferencia negativa solo cuando se asocia con *G. ulmifolia*. No obstante, la producción total de ambos forrajes al ser asociados (600.3 kg/ha) fue similar al forraje de la especie no leguminosa en cultivo puro (650.7 kg/ha), además que se obtiene un forraje diversificado.

Dos años después, Casanova *et al.* (2009) evaluaron el comportamiento agronómico de estas mismas especies en la época seca y observaron que la asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* tuvo un rendimiento de 2.75 t MS/ha (en conjunto) lo que fue menor que el monocultivo de *G. ulmifolia* (4.0 t MS/ha), pero mayor que *L. leucocephala* en monocultivo (1.51 t MS/ha). Lo anterior sugiere que aunque el pixoy en monocultivo produce mayor forraje, la asociación puede mejorar la producción de forraje en la época seca al aportar dos tipos de alimento de calidad para el ganado (Figura 3).



**Figura 3.** Rendimiento de forraje de *L. leucocephala* (L) y *G. ulmifolia* (G), en monocultivo y asociadas entre sí (L+G), en la época de seca. Fuente: Casanova *et al.*, 2009.

La asociación de especies leñosas puede mejorar el rendimiento y la calidad de forraje; sin embargo, hay que considerar las potenciales interacciones que pueden presentarse en el sistema. En este sentido Casanova *et al.* (2007) mencionan que la asociación de especies leñosas actúa recíprocamente de muchas formas, desde una severa competencia, hasta la complementación y/o facilitación.

Incluso, donde se presenta competencia, lo que podría suceder en este estudio (en el sistema *L. leucocephala* + *G. ulmifolia*), ésta no es necesariamente negativa para el sistema en su totalidad, ya que pueden presentarse mejoras en el uso de los recursos del suelo (e.g. mejor aporte de hojarasca de calidad y mejora en reciclaje de nutrimentos), y en el medio ambiente en general (e.g. incremento en la biodiversidad, mayor captura de carbono y fijación biológica de nitrógeno).

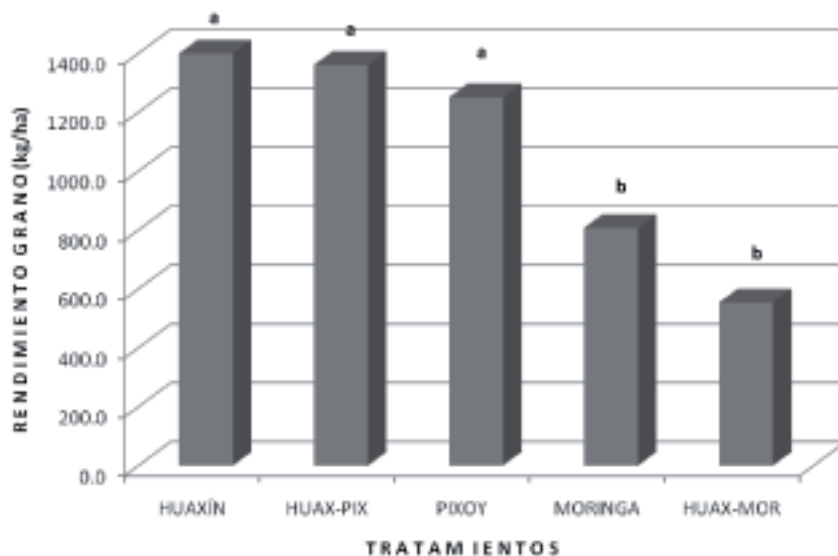
### **Producción de cultivos locales**

#### *Rendimiento de maíz*

Los primeros resultados en el sistema integrado antes descrito indican que la mayor producción de maíz se presentó en los tratamientos donde la gramínea se asoció con el huaxim (casi 1,400 kg/ha), con la dupla huaxín-pixoy (1,300 kg/ha) y con el pixoy (casi 1,250 kg/ha). Cabe mencionar que en este primer ciclo de cultivo se perdió el monocultivo de maíz, por lo que las comparaciones se dieron exclusivamente entre árboles asociados con el cereal (Figura 4).

Es importante destacar que los anteriores valores de rendimiento son los que en promedio se obtienen durante el primer ciclo de cultivo en las milpas tradicionales de la zona, por lo que puede decirse que el maíz no fue afectado por la presencia de dichas especies arbóreas. Ello fue particularmente cierto en el caso del maíz asociado con pixoy, pues esta especie tuvo un desarrollo inicial muy lento, tanto así que podría decirse que en ese tratamiento el maíz estuvo en monocultivo.

En otros estudios se han reportado resultados en cierta medida parecidos a los citados en este trabajo. Reyes (1990) reporta que en el cultivo en callejones de maíz con *L. leucocephala* a mayor espaciamiento entre los surcos de maíz, se redujo significativamente el rendimiento por hectárea de éste, incrementándose por el contrario la producción de forraje de la leguminosa. Ello indica la competencia ejercida entre ambas especies, aunque en este trabajo, al menos para el primer ciclo de cultivo como ya se mencionó, los rendimientos estuvieron en los rangos esperados sin diferencia entre los tratamientos de maíz en monocultivo y asociado con huaxim.



**Figura 4.** Rendimiento de maíz asociado con árboles forrajeros en Xmatkuil, Yucatán. Ciclo 2005. Letras distintas simbolizan diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ). Moringa= *Moringa oleifera*, Huaxim= *Leucaena leucocephala* y Pixoy= *Guazuma ulmifolia*. Fuente: Caamal-Maldonado (datos inéditos de tesis de Doctorado).

Sin embargo, en este primer ciclo el rendimiento de maíz en las unidades experimentales donde estuvo presente la especie forrajera moringa, sola o asociada con huaxim fue menor, llegando a 700 y 500 kg/ha, respectivamente (Figura 4).

Parece ser que la presencia de la especie arbórea inhibió de alguna manera el rendimiento del maíz, efecto que se marcó más cuando se asoció esta especie con huaxim. Tal vez, en este último caso, el maíz al verse afectado por la presencia de la moringa fue menos hábil competitivamente para desarrollarse con la presencia adicional de la leguminosa.

Una razón para explicar tal efecto podría ser que *M. oleifera* es más demandante de recursos en sus etapas iniciales, por lo que el maíz resultó afectado en su crecimiento. Otra explicación derivaría de algún efecto alelopático generado por dicha especie arbórea.

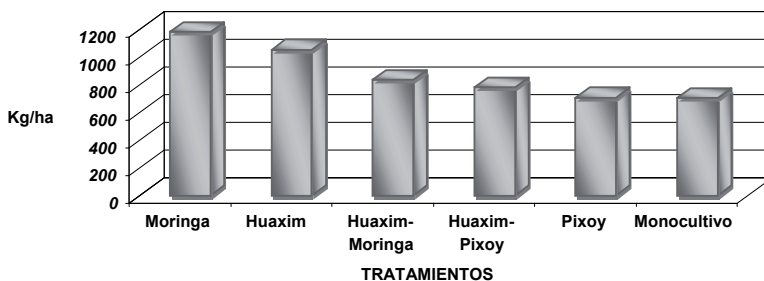
En un ciclo de cultivo posterior (2007), hubo algunos cambios en el rendimiento de maíz respecto al primer ciclo reportado en este documento.

En primer lugar, la asociación de maíz con huaxim y con moringa produjo los mayores rendimientos de la gramínea, llegando al valor más alto: casi 1.2 t/ha al cultivarse junto con esta última especie (Figura 5) (Caamal- Caamal, 2010).

Es destacable que el maíz en monocultivo y el asociado con pixoy tuvieron rendimientos similares, aunque menores a 1.0 t/ha. No obstante, también hay que considerar que el árbol asociado produjo forraje disponible para el ganado, lo que no sucede con el maíz en monocultivo; de tal suerte puede decirse que el uso de los recursos al asociar la gramínea con la especie forrajera es más eficiente (Figura 5).

Aunque el rendimiento de maíz en el tratamiento moringa parezca mayor, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas; es decir, puede decirse que la producción fue similar en los seis tratamientos evaluados ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, hay que considerar que en las asociaciones evaluadas en este trabajo se obtuvieron otros productos además del maíz, como el chile habanero y el forraje de las especies arbóreas.

Como otra ventaja de la diversificación, Espinoza *et al.* (2006) mencionan que utilizando una asociación de *Leucaena* con cultivos de ciclo corto como el maíz (*Z. mays*) y *Vigna sp.* hubo una disminución considerable del ataque de organismos nocivos a los cultivos asociados; ello como consecuencia del equilibrio biológico que se establece al incrementarse la biodiversidad.



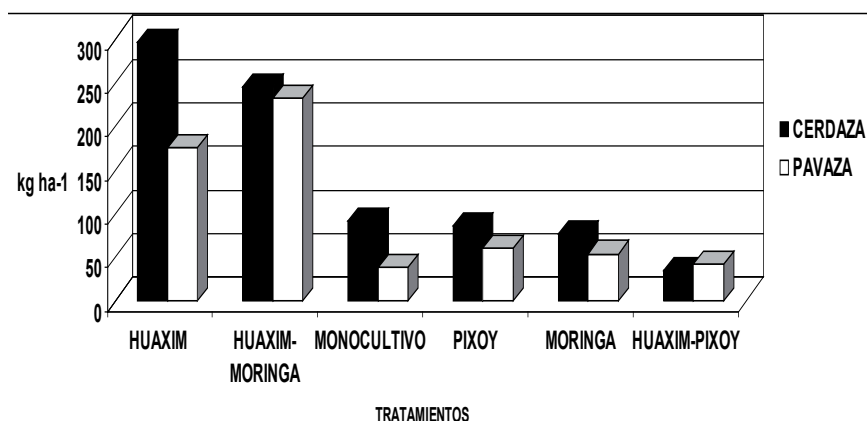
**Figura 5.** Rendimiento de maíz asociado con árboles forrajeros en Xmatkuil, Yuc. Ciclo 2007. Moringa= *Moringa oleifera*, Huaxim= *Leucaena leucocephala* y Pixoy= *Guazuma ulmifolia*. Fuente: Caamal- Caamal, 2010.



### Rendimiento de chile habanero

Por otra parte, en el experimento agroforestal el rendimiento de chile habanero de primera calidad (de exportación) fue numéricamente superior en los tratamientos de huaxim y huaxim-moringa, pero sin encontrarse diferencias significativas en el análisis estadístico. Es decir, puede decirse que los rendimientos fueron similares en todos los tratamientos (Figura 6).

Al menos, ello indica que la presencia de los árboles no actuó en detrimento del rendimiento de chile habanero. Al contrario, deben considerarse las ventajas que tienen los sistemas agroforestales sobre el monocultivo de esta especie comercial. En particular, además de la hortaliza se obtiene maíz y forraje en el mismo sitio que en global superan el producto obtenido en el monocultivo (Casanova *et al.*, 2009).



**Figura 6.** Rendimiento de chile habanero de primera calidad (exportación) al ser asociado con árboles forrajeros. Ciclo 2007. **Moringa**= *Moringa oleifera*, **Huaxim**= *Leucaena leucocephala* y **Pixoy**= *Guazuma ulmifolia*.

Fuente: Caamal- Caamal, 2010.

Lo anterior implica que se reducen los riesgos para el productor, especialmente en áreas con condiciones ambientales impredecibles. Es decir, si un cultivo no produce lo esperado, los ingresos de las otras especies pueden compensar esa disminución (Gliessman, 2002).

## Captura de carbono

El secuestro de carbono consiste en la extracción y almacenamiento de este elemento atmosférico en sumideros (eg., los océanos, la vegetación, o los suelos) a través de procesos físicos o biológicos (Brown, 2004; Ibrahim *et al.*, 2005; Casanova *et al.*, 2010a).

En la agroforestería, la incorporación de árboles y arbustos contribuye considerablemente al secuestro de este elemento, comparado con otros sistemas como las pasturas en monocultivo. Además de la importante cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea, los SAF también pueden almacenar mayores cantidades en la biomasa subterránea (Casanova *et al.*, 2010a).

Es importante enfatizar que la agroforestería no solo constituye una opción productiva, sino también es una alternativa para la generación de servicios ambientales para revertir la degradación de los recursos en los trópicos (Nair, 2004). Aproximadamente 20% de la población mundial (1,200 millones de personas) depende directamente de los productos agroforestales y de sus servicios en los países en desarrollo (Pandey, 2002).

Dada su importancia y uso generalizado, una cuestión importante que debe abordarse es si la agroforestería aplicada pudiera satisfacer las demandas locales, además de promover la captura y almacenamiento de carbono, para obtener beneficios económicos y ayudar a mitigar el excedente de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Sánchez, 1995).

En el caso del experimento agroforestal aquí reportado, Casanova *et al.* (2010a) encontraron que el carbono almacenado en la biomasa aérea de la planta fue diferente entre arreglos: el cultivo puro de *G. ulmifolia* acopió la mayor cantidad de dicho elemento, seguido de *L. leucocephala* en monocultivo y la asociación de ambas especies leñosas con 14.7, 10.4 y 9.0 t C/ha, respectivamente (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Carbono almacenado (t/ha) en la biomasa foliar, radical y hojarasca de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* de seis años de edad, en bancos de forraje puros y mixtos en Yucatán, México. Casanova *et al.*, 2010a (en prensa)

Banco de forraje	Bio- masa foliar	Biomasa radical	Hojarasca	Total
<i>G. ulmifolia</i> monocultivo	14.7 <sup>a</sup>	6.1 <sup>b</sup>	1.0 <sup>b</sup>	21.8 <sup>a</sup>
<i>L. leucocephala</i> monocultivo	10.4 <sup>b</sup>	8.1 <sup>a</sup>	1.0 <sup>b</sup>	19.5 <sup>a</sup>
<i>G. ulmifolia</i> y <i>L. leucocephala</i> asociadas	9.0 <sup>b</sup>	4.4 <sup>b</sup>	1.6 <sup>a</sup>	15.0 <sup>b</sup>

Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre columnas (P<0.05).

Estudios complementarios mostraron que *G. ulmifolia* tuvo mejor respuesta que otras leñosas al engrosar el diámetro del tallo dominante e incrementar su capacidad de rebrote, lo que sugiere que esta especie asigna mayor cantidad de recursos a la biomasa aérea (Casanova *et al.*, 2009). Asimismo, las diferencias pudieran estar relacionadas principalmente con las características genéticas de las especies como estrategia para su sobrevivencia y con su capacidad para repartir la biomasa entre los diferentes compartimientos (Comerford, 2005; Bastien-Henri, 2010).

En este sentido, Casanova *et al.* (2009) reportan que *L. leucocephala* generalmente asigna mayor cantidad de recursos a la biomasa subterránea (45%) y con ello el crecimiento de raíces es mayor a diferencia de *G. ulmifolia* (27%). Estos resultados son de suma importancia dado que la información es muy escasa debido a las condiciones edáficas particulares de la zona (Bautista *et al.*, 2005).

En relación con el crecimiento de raíces, se observó que el monocultivo de *L. leucocephala* tuvo mayor acumulación de carbono, seguido de *G. ulmifolia* en monocultivo y el sistema asociado con 8.1, 6.1 y 4.4 t C/ha.

En este sentido es importante destacar que a pesar de que el compartimento radical es la parte menos estudiada de los agroecosistemas puede representar de 10 a 40% de la biomasa total (Andrade y Ibrahim, 2004; Casanova *et al.*, 2007). Ello concuerda con los resultados del presente estudio y reitera su importancia como reservorios de carbono (Casanova *et al.*, 2009).

Por otra parte, el carbono almacenado en la hojarasca varió entre arreglos: la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* acumuló la mayor cantidad de carbono con 1.6 t/ha, seguido de sus respectivos monocultivos (1.0 t C/ha) (Cuadro1).

La hojarasca, al igual que la biomasa aérea y radical, es otro reservorio de carbono; constituye la vía de entrada principal de los nutrientes en el suelo y es esencial en el reciclaje de los mismos y de la materia orgánica (Sánchez *et al.*, 2008; Petit *et al.*, 2009).

En este sentido, Clark *et al.* (2001) mencionan que el aporte de carbono por la hojarasca de los árboles para diferentes bosques del trópico seco oscila entre 0.9 y 6.0 t C/ha. Dichos datos se encuentran dentro del rango del presente estudio (0.9-1.6 t C/ha) e indican que los sistemas agroforestales generan efectos favorables al ambiente, dado que las reservas de carbono pueden ser similares y en algunos caso mayores que los sistemas naturales (Nair, 2004).

En términos generales, el carbono total acumulado en la biomasa arbórea, considerado la sumatoria de la biomasa aérea y radical de las especies leñosas, y la hojarasca, difiere entre arreglos debido a que la asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* fue ligeramente menor (14.9 t C/ha) que sus respectivos monocultivos (19.5 y 21.8 t C/ha) (Cuadro1). Los resultados del presente estudio coinciden con los reportados por Amézquita *et al.* (2008) para un banco de forraje conformado por *Trichantera gigantean*, *Morus* spp., *Erythrina fusca* y *Tithonia diversifolia*, donde se observó que el sistema puede almacenar hasta 18.0 t C/ha en la biomasa total.

En un estudio exhaustivo, Nair *et al.* (2009) indican que el secuestro de carbono en la biomasa arbórea de los sistemas agroforestales tiene un amplio rango de variación que va de 0.29 t/ha en un banco de forraje en África occidental hasta 15.2 t/ha en parcelas mixtas en Puerto Rico. Los resultados del experimento agroforestal en Yucatán se encuentran dentro de dicho rango; sin embargo, es importante enfatizar que las variaciones inherentes en las estimaciones y la falta de metodologías uniformes hace difícil la comparación entre diversos sistemas. Adicionalmente, la

disposición de las especies, la edad, la ubicación geográfica, los factores ambientales y las prácticas de manejo, influyen en la capacidad de almacenamiento de este elemento en el sistema (Kurstén y Burschel, 1993; Shibu, 2009).

Diversos estudios sostienen que estos sistemas diversificados pueden mantener y hasta aumentar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos. En efecto, la agroforestería fomenta prácticas sostenibles de bajos insumos que minimizan la alteración de los suelos y plantas. Además, pone énfasis en el uso de la vegetación perenne y el reciclaje de nutrientes, con lo que contribuye a almacenar carbono a largo plazo (Casanova *et al.*, 2010a; Nair, 2004; Schroth *et al.*, 2001).

En resumen, la agroforestería ofrece múltiples bondades, no solo al ambiente sino también al productor puesto que los árboles protegen al suelo de la erosión y adicionan materia orgánica, proveen de alimento y sombra para los animales todo el año, y mantienen una alta biodiversidad animal y vegetal (Sánchez, 1995). Asimismo, la utilización de leñosas promueve la recuperación de áreas degradadas (Razz y Clavero, 2006), así como también la captura de dióxido de carbono, el cual es uno de los principales gases causantes del efecto invernadero (Mutuo *et al.*, 2005; Ibrahim *et al.*, 2007).

## LIMITACIONES Y OPORTUNIDADES

Debe reconocerse que las interacciones en los sistemas agrícolas diversificados, ya sean económicas o ecológicas, no solo pueden ser positivas, sino que la mayor complejidad de estos sistemas puede generar interacciones negativas. Entonces, a futuro, debe centrarse la atención en identificar estas últimas para proponer esquemas que logren minimizarlas a la vez que se maximizan las relaciones benéficas (Shennan, 2008).

Al respecto, es evidente que moverse de un agroecosistema uniforme, en monocultivo, a uno más diverso e integrado, no es un proceso fácil ni inmediato, y que los impactos sobre algunas interacciones

podrían ser perjudiciales para el sistema en su conjunto. Por ejemplo, sería importante evaluar el efecto negativo que puede tener la mayor complejidad estructural del sistema diversificado sobre el establecimiento de otras interacciones importantes, como la presencia de polinizadores del chile habanero. Es decir, dicha complejidad puede limitar el daño que *B. tabaci* causa al cultivo, pero no se conoce el efecto que puede tener sobre la eficiencia de polinizadores.

De igual manera, la asociación de diversas especies, en particular las arbóreas, puede generar un microclima favorable para el desarrollo de las especies y de la macrofauna benéfica del suelo, pero es importante considerar también la posibilidad de que esas condiciones microclimáticas puedan favorecer una mayor abundancia de otras especies, en particular los moluscos terrestres, que pueden dañar las plantas.

En suma, las perspectivas de investigación deben enfocarse en identificar las interacciones positivas y las negativas que se presentan en los sistemas agrícolas diversificados para proponer esquemas de manejo que busquen “mantener y aumentar la disponibilidad de alimentos inocuos y otros productos agrícolas para el bienestar del productor, del consumidor y la protección y mejoramiento del ambiente a largo plazo (Ruiz-Rosado, 2001).

## CONCLUSIONES

En Yucatán, los sistemas agroforestales integrados con especies forrajeras y alimenticias (maíz y chile habanero) permiten generar diversos productos que minimizan el riesgo de pérdida para el productor.

Los sistemas agroforestales no solo ofrecen ventajas productivas sino que pueden contribuir de manera importante en la captura de C y, por tanto, coadyuvar en la disminución del deterioro ambiental.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo deriva de los proyectos: “Evaluación de sistemas hortícola-agroforestales integrados con la producción porcina para propiciar el reciclaje de nutrimentos y eficientar el uso de los recursos naturales locales, en Xmatkuil, Yuc” y “Evaluación de sistemas agroforestales para la producción de maíz, forraje y chile habanero”, ambos financiados por el programa PRIORI, de la UADY (Claves: PRIORI-FMVZ-04-006 y PRIORI-FMVZ-007-06, respectivamente). La información presentada es parte de las tesis de Doctorado de los dos primeros autores (por la Universidad Nacional Autónoma de México y por la UADY, respectivamente), de la tesis de Maestría en Ciencias de la tercera (UADY), y de las tesis de Licenciatura en Agronomía del cuarto y quinto colaboradores (Instituto Tecnológico de Conkal). Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, por las becas otorgadas a los colaboradores Casanova-Lugo y González-Moreno para realizar sus estudios de posgrado. Un especial agradecimiento para los trabajadores de campo: Santos Pool, Julio Cocom, Antonio Chan y Jorge Pool, así como a todos los trabajadores del área de forrajes del CCBA de la UADY. Se agradece también a Maricely Chan por su invaluable apoyo secretarial y administrativo en las oficinas del CAPAAT, de la UADY.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amézquita M.C., Amézquita E., Casasola F., Ramírez B.L., Giraldo H., Gómez M.E., Llanderal T., Velázquez J. e Ibrahim M.A. (2008). “C Stocks and sequestration”. En: *Carbon sequestration in tropical grassland ecosystems*, L. t Mannelje, M.C. Amézquita, P. Buurman and M.A. Ibrahim (eds.). Wageningen Academic Publishers. Netherlands, pp 49-68.
- Andrade H.J. e Ibrahim M. (2004). “¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?” *Agroforestería en las Américas*, 10 (39-40):109-116.
- Arias I. (1992). “El proyecto dinámica de la milpa en Yucatán”. En D. Zizumbo, Ch. Rasmussen, Arias L.M. y Terán S. (Eds). *La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. III. Racionalidad tecnológica e innovaciones*. pp. 195-202.

- Bastien-Henri S., Park A., Ashton M., Messiera CH. (2010). "Biomass distribution among tropical tree species grown under differing regional climates". *Forest Ecology and Management* 260:403–410.
- Bautista F., Palma-López D. y Huchin-Malta W. (2005). "Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán", pp. 105- 122. En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. 282 pp.
- Brienza S. and Gazel A. (1991). "Agroforestry systems as an ecological approach in the Brazilian Amazon development". *Forest Ecology and Management*, 45: 319-323.
- Brown J., Hall B.L., Westerling A.L. (2004). "The impact of twenty-first century climate change on wildland fire danger in the western United States: An applications perspective". *Climatic Change*, 62: 365–388.
- Caamal M.A. y Armendáriz Y.I. (2002). "La sucesión secundaria en los ecosistemas y agroecosistemas tropicales- El henequén (*Agave fourcroydes*) en el contexto de la diversificación". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1(1): 28-32.
- Caamal M.J.A., Jiménez O.J.J., Torres B.A. y Anaya A.L. (2001). "The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems". *Agronomy Journal*, 93: 27-36.
- Caamal-Caamal J.A. (2010). Producción de chile habanero (*Capsicum chinense* jacq) asociado con maíz y árboles forrajeros. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán. 62 pp.
- Casanova L.F., Caamal M.A., Petit A.J., Solorio S.F., Castillo C.J. (2010a). "Acumulación de carbono en la biomasa de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo". *Revista Forestal Venezolana*, 54(1): 45-50.
- Casanova L.F., Caamal M.J.A., Solorio S.F.J., Castillo C.J.B. (2009). "Comportamiento agronómico de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo". En: 1er Congreso Internacional de Agronomía Tropical y 2do Simposio Nacional Agroalimentario, versión electrónica. Villahermosa, Tabasco, México.
- Casanova L.F., Ramírez A.L., Solorio S.F. (2010b). "Effect of pruning interval on foliage and root biomass in forage tree species in monoculture and association". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12: 33-41.
- ..... (2007). "Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo". *Avances en Investigación Agropecuaria*. 11 (3): 41-52.



- Chazdon R.L. (2008). "Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands". *Science*, 320(5882):1458-1460.
- Clark D.A., Brown S., Kicklighter D.W., Chambers J.D., Thomlinson J.R., Ni J. y Holland E. (2001). "Net primary production in tropical forest: An evaluation and synthesis of existing field data". *Ecological applications*, 11(2): 371-384.
- Comerford N.B. (2005). "Soil factors influencing soil nutrient availability and uptake by plant roots: Soil Nutrient Bioavailability". In: H. BassiriRad, Ed. *Ecological Studies; Nutrient Acquisition by Plants: An Ecological Perspective*. Springer-Verlag. pp. 1-14.
- Díaz-Gallegos J.R., Mas J.F., Velázquez A. (2010). "Trends of tropical deforestation in Southeast Mexico". *Singapore Journal of Tropical Geography*, 31(2): 180-96.
- Espinoza F., Torres A. y Urbano, D. (2006). *Leucaena leucocephala*: Especie arbórea multipropósito en sistemas agroforestales. [http://www.eniap.gov.ve/pbd/Congresos/agroforesteria/ponencias/espinoza\\_freddy.pdf](http://www.eniap.gov.ve/pbd/Congresos/agroforesteria/ponencias/espinoza_freddy.pdf). [consulta: 05/03/09].
- FAO (2006a). Evaluación del almacenamiento de carbono en el suelo y sus principales cambios. Disponible en <http://fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s06.html> [Consulta: 20-12-08].
- \_\_\_\_\_ (2006b). Livestock's long shadow. Environmental issues and options. Part V, Livestock's impact on biodiversity. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. p.181-218.
- \_\_\_\_\_ (2007). "The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture - in brief". D. Pilling & B. Rischkowsky (Eds.). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- \_\_\_\_\_ (2009). The estate of food and agriculture 2009. Livestock in the balance. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 180 pp.
- \_\_\_\_\_ (2010a). Cattle ranching and deforestation. Livestock policy brief 03. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. p.1-8.
- \_\_\_\_\_ (2010b). Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector. A Life Cycle Assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 94 pp.
- García E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. México, D.F.
- Gliessman S.R. (2002). *Agroecología: Las bases científicas de la agricultura sostenible*. CATIE. Costa Rica. 359 pp.
- Gómez C.H., Nahed T.J., Tewoldec A., Pinto R.R. y López M.J. (2006). "Áreas con potencial para el establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas". *Técnica Pecuaria en México*, 44(2): 219-230.

- Herrero M., Thornton P.K., Gerber P., Reid, R.S. (2009). "Livestock, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs". *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1:111-120.
- Ibrahim M., Chacón M., Cuartas C., Naranjo J., Ponce G., Vega P., Casasola F. y Rojas J. (2007). "Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua". *Agroforestería en las Américas*, 45: 27-36.
- Ibrahim M., Chacón M., Mora J., Zamora S., Gobbi J., Llanderal T., Harvey A., Murguieitio E., Casasola F., Villanueva C. y Ramirez E. (2005). "Opportunities for carbon sequestration and conservation of water resources on landscapes dominated by cattle production in Central America". En: Henry A. Wallace/CATIE Inter-American Scientific Conference Series, "Integrated management of environment services in human-dominated tropical landscape" (4, Costa Rica, 2005). Abstracts. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 27-34.
- ITTO, 2002. ITTO Guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests. International Tropical Timber Organization, ITTO Policy Development Series, No 13.
- Kursten E. and Burschel P. (1993). "CO2 mitigation by agroforestry". *Water, Air and Soil Pollution*, 70: 533-544.
- Ku-Vera J.C., Ramírez-Avilés L., Jiménez F.G., Alayon J.A. y Ramírez C.L. (1999). "Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico". En: Sánchez, M.D. y Rosales, M.M. (eds). *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Roma, Italia. pp. 231-258.
- López H.M., Rivera L.J., Ortega R.L., Escobedo M.J., Magaña M.M., Sanginés G.J. y Sierra V.A. (2008). "Contenido nutritivo y factores antinutricionales de plantas nativas forrajeras del norte de Quintana Roo". *Técnica Pecuaria en México*, 46(2): 205-215.
- Melotto A., Nicodemo M., Bocchese R., Laura V., Marques Gontijo M., Dias Schleder D., Pott A., da Silva V. (2009). Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil central indicadas para sistemas silvipastoris. *R. Árvore, Viçosa-MG*, 33(3):425-432.
- Montagnini F. (2000). Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *For. Ecol. Managem.* 134:257-270.
- Morales R.J. y Magaña R.S. (2001). Fuentes de impacto, necesidades de investigación científica y monitoreo en Calakmul, Campeche. Pronatura Península de Yucatán, A.C. The Natura Conservancy. Mérida, Yuc. 72 pp.

- Mutuo P.K., Cadisch G., Albrecht A., Palm C.A. and Verchot L. (2005). "Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics". *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71: 43-54.
- Nair P.K.R., Kumar B.M., Nair V.D. (2009) "Agroforestry as a strategy for carbon sequestration". *J Plant Nutr Soil Sci.*, 172:10-23.
- Nair P.K.R. (2004). "Agroforestry: Trees in support of sustainable agricultura". En: Hillel, H., Rosenzweig, C., Powlson, D., Scow, K., Singer, M., and Sparks, D. (eds.), *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, London, U.K. Pp. 35-44. Reino Unido.
- Pandey D.N. (2002). Carbon sequestration in agroforestry systems. *Climate Policy*, 2 (4):367-377.
- Park A., van Breugel M., Ashton M., Wishnie M., Mariscal E., Deago J., Ibarra D., Cedeño N., Hall J. (2010). "Local and regional environmental variation influences the growth of tropical trees in selection trials in the Republic of Panama". *Forest Ecology and Management*, 260:12-21.
- Payne W.J.A. (1985). "A review of the possibilities for integrating cattle and tree crop production systems in the tropics". *Forest Ecology and Management*, 12:1-36.
- Petit-Aldana J., Casanova-Lugo F. y Solorio-Sánchez F.J. (2009). "Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos". *Agricultura Técnica en México*, 35 (11): 107-116.
- Razz R. y Clavero T. (2006). "Cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*". *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 23: 326-331
- Reyes C.P. (1990). *Maíz y su cultivo*. Editorial A.G.T de S.A. México, D.F. pp 93-100.
- Ruiz-Rosado O. (2001). "The systems approach for sustainable development at catchment and parish group levels". *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 8: 79-84.
- Sánchez C.S., Crespo L., Hernández C.M. y García O.Y. (2008). "Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril asociado con *Leucaena leucocephala*". *Zootecnia Tropical*, 26(3): 269-273.
- Sánchez P.A. (1995). "Science in Agroforestry". *Agroforestry Systems*, 30: 5-55.
- Schroth G., Lehmann J., Rodriguez M.R.L., Barros E. and Macedo J.L.V. (2001). "Plant-soil interactions in multistate agroforestry in the humid tropics". *Agroforestry Systems*, 53: 85-102.

- Shennan C. (2008). "Biotic interactions, ecological knowledge and agriculture". *Phil. Trans. R. Soc. B*, 363, 717-739.
- Shibu J. (2009). "Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview". *Agroforestry Systems*, 76: 1-10.
- Solorio S.F. (2005). Soil fertility and nutrient cycling in pure and mixed fodder bank systems using leguminous and non/leguminous shrubs. Ph.D. Thesis. Institute of Atmospheric and Environment Science. Edinburgh, Scotland. 200 pp.
- Sosa R.E., Pérez R.D., Ortega R. y Zapata B.G. (2004). "Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos". *Técnica Pecuaria en México*, 42: 129-144.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C. (2006). *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Tejeda-Cruz C., Silva-Rivera E., Barton J.R., Sutherland W.J. (2010). "Why shade coffee does not guarantee biodiversity conservation". *Ecology and Society*, 15(1): 13.
- Vandermeer J., Perfecto I. (2007b). *Evaluación y conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados en Mesoamérica*. C. A. Harvey (Ed.). Editorial de la Universidad Nacional Autónoma de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Vandermeer J., Perfecto I. (2007a). "The agricultural matrix and a future paradigm for conservation". *Conservation Biology*, 21:274-277.
- Villa-Herrera A., Nava-Tablada M.E., López-Ortiz S., Vargas-López S., Ortega-Jiménez E. y Gallardo-López F. (2009). "Use of guácimo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) as a forage source for extensive livestock production in a tropical area of Mexico". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10: 253-261.
- Wishnie M.H., Dent D.H., Mariscal E., Deago J., Ceden˜no N., Ibarra D., Condit R., Ashton P.M.S. (2007). "Initial performance and reforestation potential of 24 tropical tree species planted across a precipitation gradient in the Republic of Panama". *Forest Ecology and Management*, 243:39-49.

**AVANCES EN INVESTIGACIÓN  
EN CALIDAD E INOCUIDAD  
DE PRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL**



## UN MODELO DE SINERGIA EN LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

*G. Prado<sup>1</sup>, M.A. Cerbón<sup>2</sup>, I. González<sup>2</sup>,  
M. Noa<sup>3</sup>, F. de León González<sup>1</sup>*

**RESUMEN** Es frecuente encontrar residuos de plaguicidas organoclorados (OCs) y contaminantes de metales pesados en la leche, los cuales son perjudiciales a la salud. Por tal motivo se hizo un análisis de los principales efectos de DDT, heptacloro (H) y cadmio sobre la salud y el ambiente, lo cual ratificó la contaminación con estos productos. Se exploraron perturbaciones generadas por los dos OCs y el metal pesado, se citan avances en la investigación sobre su toxicidad, ciertos recursos para resolver problemas, distinguiendo tendencias y perspectivas en su manejo. Se presentan los contenidos de DDT, DDE, Heptacloro (H), Epóxido de heptacloro (EH) y Cadmio registrados en los últimos años en muestras de diferente denominación láctea en el territorio mexicano y se relacionan con estimaciones realizadas en otras zonas del planeta. El contenido de S-DDT en muestras de calostro humano provenientes de Veracruz en 1999 se estimó en 5.51 mg/g base grasa; los residuos en leche humana de una población de la Ciudad de México en 2004 fueron 2.55 mg/g; la sumatoria en leche de cabra en el estado de Querétaro en 2007 expresó 0.065 mg/g y en muestras de leche cruda vacuna originaria del estado de Jalisco en 2009 se señalaron 0.0014 mg/g. La S-(H+EH) en leche pasteurizada de la zona metropolitana

1 Departamento de Producción Agrícola y Animal, UAM-X; Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, CP 4960, México D.F. gprado@correo.xoc.uam.mx

2 Departamento de Biología, Facultad de Química, UNAM; Ciudad Universitaria, Circuito Interior s/n Coyoacán, México D. F. CP 04510 mcerbon85@yahoo.com.mx  
ignacio.gonzalez.s@gmail.com

3 Departamento de Salud Pública, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara, Carretera Guadalajara Nogales km 15.5, Las Agujas, Zapopan, Jal. CP 45110 mnoa1@yahoo.com

en 1998 se calculó en 0.15 mg/g; en leche humana correspondiente a 2004 se estimó en 0.259 mg/g. Muestras de leche de cabra en 2007 registraron 22.51 ng/g de H y 95 % de frecuencia, mientras que el EH se calculó en 13.4 ng/g con 93.2% de frecuencia. La presencia de cadmio en leche vacuna originaria de Monterrey en 2004 y marcas comerciales de la zona metropolitana en 2005 sobrepasaron la reglamentación internacional de 20 mg/kg. Se discuten mediante un esquema termodinámico las implicaciones que puedan tener estos compuestos dentro del mismo producto lácteo.

**Palabras clave:** leche, residuos, contaminantes, toxicidad, salud, medio ambiente

**SUMMARY** The presence of residues of some organochlorine pesticide (OCs) and heavy metals contaminants in milk and dairy products is a harmful but usual finding all over the world, including Mexico. For this reason, we present an overview about the effects on human health and the environment due to the presence in the biological environment of some OCs, especially DDT, heptachlor, and cadmium. The present paper discussed some selected topics concerning their toxicity, and options in order to diminish the adverse effects of the pollution and some perspectives in this field. Results of the analytical determinations of S-DDT, S-(H+EH) and cadmium in different milk categories in Mexico are presented together with a comparison with results from other countries. S-DDT in human calostrum from Veracruz in 1999 was found at 5.51 mg/g on fat basis; breast milk in a sample from Mexico City's population in 2004 was 2.55 mg/g on fat basis. Goat milk content in Queretaro State during 2007 was 0.065 mg/g and the values of raw and pasteurized cow milk from Jalisco State in 2009 were 0.0014 mg/g, while in pasteurized cow milk from Guadalajara metropolitan zone in 1998 gave values of 0.15 mg/g; its content in breast milk of a population from Mexico City were 0.259 mg/g. S-(H+EH) in pasteurized cow milk from metropolitan zone in 1998 gave values of 0.15 mg/g; its content in breast milk of a population from Mexico City were 0.259 mg/g. Residues of H in goat milk were 22.51 ng/g with 95 % frequency, while EH concentration was measured with values of 13.4 ng/g and 93.2% frequency. Cadmium was present in different brands of commercial milk in Mexico City in 2005 over the MRL, estimated in 20 mg/kg. Synergetic pollution phenomenon is discussed under thermodynamic consideration.

**Key words:** milk, residues, contaminants, toxicity, environment, health



## INTRODUCCIÓN

La naturaleza de la leche vacuna permite exitosamente su amplio consumo en las poblaciones humanas. Los beneficios nutrimentales de este alimento se fundamentan en el contenido de una gama de biomoléculas, las cuales participan en el metabolismo y sostenimiento de la actividad de los consumidores. Sin embargo, cada vez hay más evidencia que el producto lácteo está sujeto a procesos que alteran su composición original y por tanto su calidad e inocuidad, condiciones que son precisas en alimentos destinados a seres humanos.

Entre las sustancias que perturban la naturaleza de la leche se encuentran residuos de múltiples productos de la vida moderna, la industria y el avance tecnológico; adicionalmente, los procesos geoquímicos arrastran contaminantes por las cadenas tróficas hasta este producto.

La lista de los compuestos encontrados en la leche es abundante, así como son variadas las concentraciones estimadas; de modo que los contenidos de residuos y contaminantes dependen de las condiciones bio-geoquímicas y las políticas de salud de las regiones de origen. De manera paralela, el espectro de daños de los que se tiene registro cada vez tiene más amplitud, entre los que se cuentan los siguientes: i) efectos metabólicos manifiestos como alteraciones en las respuestas reproductivas, neurológicas, endocrinas e inmunológicas; ii) modificaciones en el ADN con expresiones mutagénicas y carcinogénicas, clastogenicidad y aberraciones cromosómicas; y iii) perturbaciones ambientales.

## MÉTODO DE TRABAJO

El objetivo de este trabajo consiste en dar tres ejemplos de sustancias nocivas que se han registrado en diferentes denominaciones lácteas mexicanas y de ofrecer información sobre sus efectos en la salud humana y sobre el medio ambiente. Los xenobióticos seleccionados son el DDT y el heptacloro entre los plaguicidas organoclorados, y el metal tóxico seleccionado es el cadmio. Se discuten los resultados con relación a otros

estudios y con relación al tiempo, enmarcando los fenómenos de contaminación en la Teoría General de Sistemas y en los conceptos de entropía y estructuras disipativas.

DDT

### **Generalidades**

El p,p'-DDT [1,1,1-tricloro-2,2-bis(4 clorofenil) etano] es un hidrocarburo aromático clorado, el cual se ha estudiado acuciosamente ya que su indiscriminado uso durante unos sesenta años es la causa de su ubicuidad. Los beneficios inmediatos obtenidos de su utilización en la agricultura y en la zootecnia han sido efectivos al mejorar el rendimiento de cultivos como el algodón o plátano y disminuir la mortalidad de poblaciones humanas al combatir vectores de enfermedades como el paludismo. Por esos motivos, su uso fue casi generalizado y los logros inmediatos alentaron sus aplicaciones.

En México comenzó a utilizarse en 1955. Desde esa fecha y hasta 1960 se asperjaron 12,000 t anuales. De 1971 a 1993 se ocuparon 226 000 t en campañas sanitarias (Albert, 1996). La Ley de Salud fue formulada en 1984 pero no ha sido cubierta a cabalidad, dado que en 2001 se estimó que de los desechos nocivos, solo 12.7% recibía tratamiento.

A lo largo de este tiempo se ha generado conocimiento acerca de los plaguicidas sintéticos utilizados y en la actualidad las evidencias muestran comportamientos que inciden en la salud y en el ambiente. De esta manera, los efectos a tiempos medios o largos comprometen seriamente un uso racional del compuesto.

Los campos de estudio acerca del xenobiótico han abordado sus propiedades fisicoquímicas, respuestas toxicológicas, perturbaciones ecológicas, interrelaciones bioquímicas, farmacológicas, clínicas y epidemiológicas. Las herramientas de la biología molecular, la genética y la epigenética, así como las nuevas tecnologías de la bioinformática y los avances implementados en biorremediación, producción de vacunas y empleo de plaguicidas

orgánicos o de organismos genéticamente modificados han configurado un creciente panorama de los efectos del DDT y sus metabolitos sobre los recursos bióticos y abióticos, así como algunas formas de resolver un problema de contaminación o buscar alternativas para disminuir o sustituir su uso.

### **Farmacocinética**

Un aspecto fundamental en la interrelación que se da entre los xenobióticos y los organismos es su farmacocinética. Éstas incluyen i) la absorción de la sustancia bajo una formulación dada, ii) su distribución en el organismo receptor, iii) el metabolismo tanto al que se somete el compuesto y cómo éste actúa sobre las respuestas metabólicas del huésped y iv) la excreción del progenitor o sus derivados. Cada etapa está influida por la naturaleza química del compuesto, solubilidad, coeficiente de partición, dosis de exposición, frecuencia y duración de la misma, naturaleza del organismo receptor y su condición de salud.

Para el DDT la vía común de incorporación es la oral y se estima que su efecto sobre la salud es de 4 a 23 veces mayor que por la vía dérmica. Debido a que el logaritmo del coeficiente de partición  $K_{ow}$  de los isómeros y sus derivados varía entre 5.73 y 5.83 es altamente lipofílico y se acumula fundamentalmente en los tejidos grasos del cuerpo receptor.

Dentro de los tejidos la biotransformación guarda relación con una o más de las siguientes condiciones: i) sistemas enzimáticos, ii) estado redox, iii) pH, iv) afinidad por ligandos, v) mecanismos reguladores o reparadores y vi) procesos descontaminantes activos o perturbados. Su metabolismo se da en etapas de Fase I, Fase II y ocasionalmente de Fase III, las cuales son selectivas o predominantes en órganos diana y consisten en oxidaciones, oxigenaciones, hidroxilaciones, epoxidaciones y desalquilaciones en las primeras etapas para luego intervenir reacciones de conjugación con metabolitos endógenos que les imponen un carácter soluble en agua y son excretados por la orina. También hay selectividad en la acumulación del progenitor y sus metabolitos, como ha sido evidenciado cuando se analizó que el DDE se acumuló preferentemente en cerebro y el DDD

principalmente en el hígado de ratas jóvenes, mientras que el progenitor estaba en mayor proporción en el tejido adiposo.

Un objetivo de gran interés ha sido conocer cómo se realiza la excreción del DDT y sus derivados, ya que desde 1951 Laug *et al.* reportaron su presencia en leche humana. Estos productos de excreción son resultado de la formación de derivados solubles que tienen lugar en el hígado y en el riñón. En este órgano el anillo aromático sufre una meta-fisión y se forma el ácido diclorofenilacético, ácido 2,2-bis(4-clorofenil acético), p,p'-(DDA), el cual está siendo propuesto como un marcador urinario de exposición en las campañas antipalúdicas. En la vía de transformación puede producirse el derivado alcohol p,p'-DDOH con la intervención de deshalogenasas, dioxigenasas e hidrolasas.

Durante la gestación y la lactancia las hormonas movilizan grasas del tejido adiposo a la sangre para cubrir el requerimiento energético y producir la leche; por esta razón el DDT y otros plaguicidas se encuentran disueltos en la fracción grasa de la misma. Los compuestos progenitores que no han sido transformados se eliminan preferentemente por la leche, siendo éste un mecanismo que descontamina el organismo que lo contenía. Es la razón por la cual el contenido de DDT+DDE+DDD se ha considerado como indicador global de la contaminación ambiental (Smith, 1999).

Relativo a las reacciones de oxidación de Fase I se hicieron observaciones consecutivas por diferentes investigadores: i) tanto el DDT como el DDE inducían las isoformas CYP2B y CYP3A y no tenían efecto sobre CYP1A1 ni CYP2E1 de la familia del Citocromo P-450; ii) se modificaba el transporte de los iones de sodio y potasio a través de la membrana; iii) disminuían las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa, glutatión-S-transferasa y catalasa; iv) disminuía la concentración de glutatión reducido. Estas respuestas se conectaron con la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO), manifestación de un estrés oxidativo que la célula puede en ocasiones contener y en otras no puede resolver.

## Características

Su persistencia en el medio es la respuesta a su estabilidad química y por tanto a su lenta degradación, mientras que las condiciones endógenas son responsables de la transformación en sus metabolitos. Las condiciones reductoras favorecen su desclorinación transformándose en DDD [1,1-dicloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano]. Cuando permanecen dichas condiciones puede formarse diclorobenzofenona, mientras que si sucede una deshidroclorinación se transforma en DDE [1,1-dicloro-2,2-bis(4-clorofenil)eteno]. Norén y Meyronité (2000) han calculado que el decaimiento de 2500 ng/g de DDE base grasa hasta 200 ng/g alcanza veinticuatro años y se expresa por la fórmula  $y = 2739.1 e^{-0.1134x}$ . La respuesta de degradación del derivado metilsulfonado  $\text{MeSO}_2$ -DDE se define como  $y = 5.2987 e^{-0.1214x}$  desde 5.0 a 0.3 ng/g con la misma duración de 24 años.

Si a sus periodos de decaimiento se agrega el hecho de las exposiciones masivas a las que ha estado sujeto el planeta, se puede colegir que la relación cualitativa-cuantitativa tiene grave consecuencia sobre la salud ambiental. Un dato relativamente reciente refirió que en mayo de 2005 se discutió en el seno de la Asamblea de la FAO/OMS el uso del DDT para abatir las poblaciones de mosquitos *Anopheles* y los países de Tanzania, Kenya y Sudáfrica expresaron la necesidad de su uso para combatir la malaria (Earth Negotiations Bulletin, 2005). Sin embargo, el problema no es general, ya que dichos vectores fueron capaces de manifestar diferente sensibilidad al insecticida, como fue estimado por el estudio de Muenworm *et al.* (2006) cuando estudiaron las especies *A. maculates* y *A. sanadwongpomi Rattanairthikal*, encontrando que la última fue especialmente sensible.

## Efectos sobre la salud

Cuando las concentraciones de radicales como el hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ) y el superóxido ( $\cdot\text{O}'_2$ ) no son superadas, se presenta tanto peroxidación de lípidos de la membrana como entrecruzamiento de proteínas con el DNA, respuestas que pueden modificar la señalización de la apoptosis y ocasionalmente causar la muerte celular o seguir rutas de proliferación relacionadas con

tumorigénesis. En relación con esta serie de investigaciones y con la alta sensibilidad de los sistemas biológicos a los múltiples desórdenes producidos aun a concentraciones picomolares de DDT después de 30 s de ser administradas, Wosniak *et al.* (2005) analizaron que se alteraba el flujo del ión calcio dependiente de voltaje de la membrana y la pérdida de esta homeostasis disparaba una serie de fenómenos, entre ellos, la apoptosis.

La literatura registra investigaciones que se han orientado a estimar efectos tóxicos del DDT y sus metabolitos empleando indicadores como la sobrevivencia a concentraciones determinadas o la velocidad de crecimiento en comparación a lotes controles u otros tóxicos. La información global obtenida en especies inferiores de la escala filogenética como algas y anfípodos ha dado luz en variables taxonómicas dentro del mismo género; físicas como concentración de oxígeno y temperatura; farmacológicas como dosis, tiempos y frecuencias; ecológicas como hábitats y hasta la relación entre el área superficial y el volumen del organismo estudiado. Se infiere que si existen dichas influencias en estos organismos, a medida que se asciende en la complejidad evolutiva, la red de relaciones crecerá no linealmente.

El cuadro de efectos del DDT sobre la salud cubre aspectos neurológicos, reproductivos, endocrinos, inmunológicos y genéticos y de manera global lo que se ha llamado 'los accidentes ecológicos'. A continuación se comentarán brevemente algunos de los estudios realizados en un campo tan vasto y en ocasiones polémico.

Al revisar la acción del DDT sobre el Sistema Nervioso Central, se sabe que altera la transmisión del impulso nervioso al modificar el intercambio de los iones  $\text{Na}^{1+}$  y  $\text{K}^{1+}$ . La respuesta alarga la fase de hiperexcitabilidad del potencial de acción y altera la recuperación de la polarización de la membrana al término del impulso. Kavlock *et al.* (1996) analizaron que la naturaleza lipofílica del DDT fue responsable de esta unión por la afinidad de los fosfolípidos de la vaina del axón por el xenobiótico, respuesta global que se expresó como temblor.

Es de dominio público que durante el proceso de maduración cerebral se instala la sinaptogénesis y se establecen conexiones neuronales. Este periodo de alta actividad colinérgica cerebral coincide en cierto momento con la lactancia, y en ella se da la descontaminación de sustancias peligrosas que van en la leche. En ratones de cuatro meses se ha observado una disminución de la capacidad locomotora. Este efecto también se analizó en 244 niños cuyas madres solo vivían en zonas geográficas de alta prevalencia a paludismo, encontrando que en los tres primeros meses de vida estos recién nacidos manifestaron una reducción del Índice de Desarrollo Psicomotor. Bornman *et al.* (2007) estudiaron esta respuesta en niños y ratificaron la influencia del DDT sobre la alteración de la concentración intracelular del  $\text{Ca}^{2+}$  haciendo observaciones de necrosis. Después ratificaron este efecto en un modelo de embriones de pollo y encontraron aumento en la permeabilidad de la membrana y kariólisis.

Otro campo de acción del DDT y sus metabolitos es en el proceso reproductivo al tener influencia en la síntesis de las hormonas sexuales. En su ruta de transformaciones a partir de la pregnenolona, el DDT interviene induciendo isoformas del P450 y ha sido muy estudiada su influencia sobre la aromatasas, la cual es responsable de las transformaciones de la androstenediona a estrona y de la testosterona a estradiol. Es por tal razón que se le considera una molécula con carácter estrogénico.

Aun cuando los animales sufran exposiciones breves al compuesto, se ha manifestado disminución en la fertilidad, la espermatogénesis, el peso testicular, cuenta de las células de Leydig y diámetro de los tubos seminíferos, así como en la concentración de testosterona (Waliszewski *et al.*, 2005). Las exposiciones al o,p'-DDT en hembras recién nacidas expresó una pubertad precoz y reducción del cuerpo lúteo. Cuando las exposiciones fueron crónicas disminuyó la fertilidad, hubo incidencia de abortos, muerte fetal y retraso en la menstruación (Axmon *et al.*, 2004). El DDE disminuyó la concentración de testosterona plasmática, considerándolo un antiandrógeno. El meta-análisis retrospectivo que cubrió 60 años realizado en 14,947 hombres sanos de diferentes países del mundo concluyó que

el DDE junto con otros contaminantes del ambiente reflejaba aumento de cáncer testicular y efectos en la disminución de la cantidad de esperma, del volumen seminal y de la motilidad del espermatozoide (Topari *et al.*, 1996). Otro estudio realizado con p,p'-DDT estimó influencia en la proliferación epitelial, aunque no fue ratificado con representatividad estadística como causa de endometriosis.

La capacidad de alterar cualquiera de los aspectos asociados con la actividad hormonal llamada disrupción endocrina ha sido un importante motivo de estudio ya que las respuestas hormonales requieren bajas concentraciones y por ello, la introducción de una sustancia extraña se hace manifiesta. El efecto disruptor del DDT se ha analizado en hormonas sexuales, tiroideas, adrenocorticotróficas y el ácido retinoico. Además de alterar la expresión de hormonas gonadales como se comentó en el caso de la aromatasa, en tiroides afectó la incorporación de yodo en la etapa fetal del desarrollo cerebral y los estudios de Nagayama *et al.* (2007) vincularon su presencia con poblaciones infantiles con cretinismo provenientes de madres que sufrieron exposiciones severas de DDT durante la preñez. Aplicaciones de o,p'-DDT y p,p'-DDE 50 mM a células embrionarias humanas expresaron disrupción endocrina sobre la actividad andrógena. Cuando a microsomas de placenta se les repetía la aplicación de los tóxicos, se aumentaba hasta 50 veces el efecto disruptor (Benachour *et al.*, 2007).

El sistema inmune es sensible a las exposiciones con DDT y sus metabolitos. Se ha empleado el modelo de rana (*Rana pipiens*) tratada con 75 ng/g de DDT por g de peso corporal durante 10 semanas. Se encontró que hubo supresión en la producción de anticuerpos y se observó una sensibilidad secundaria retardada (Albert *et al.*, 2007). En humanos se asoció con alergias, mayor sensibilidad a infecciones, aumento de anticuerpos, irritabilidad y tipos de otitis.

La Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC) ha clasificado al DDT como carcinogénico en rata, ratón y hámster pero no concluyente para el mono. Al DDE lo agrupa entre los compuestos carcinogénicos para ratón. En relación con los humanos, lo agrupa como 2B con el signi-



ficado de posible carcinogénico. La literatura refiere su capacidad carcinogénica en próstata, linfomas no Hodgkin y el mamario. Otros estudios lo consideran hepatocancerígeno en animales de experimentación.

En la actualidad hay muchos indicadores de la alteración de la información genética. Entre las pruebas que se han hecho para verificar las respuestas se pueden anotar las siguientes: citotoxicidad para reconocer la proliferación, micronúcleos para estimar daño génico, pruebas de mutagenicidad con ensayos bacterianos, aberraciones cromosomales, intercambio de cromátidas hermanas, ruptura de una sola banda del DNA, apoptosis, polimorfismos, formación y dosificación de aductos, entrecruzamiento DNA-DNA y DNA-proteínas. Todas ellas han dado resultados positivos cuando se hacen exposiciones a concentraciones determinadas ya sea en líneas celulares como en tejidos específicos o en organismos completos.

Se han reconocido 90 secuencias de DNA implicadas en las respuestas a las exposiciones al tóxico. Entre ellas están las vinculadas con el P450, glutatión-S-transferasa, lipasa de TAG y proteína acarreadora de esteroides, entre otras.

Con la estimación de micronúcleos (MN) se estima la clastogenicidad celular frente a administraciones de un compuesto y la observación fundamental en almejas (*Perna viridis*) fue que las exposiciones crónicas al p,p'-DDT por cuatro semanas tuvieron un mayor efecto que las agudas. Ellos ampliaron la información con adiciones de otros contaminantes al estimar sinergias y antagonismos con los otros compuestos estudiados, lo que se acerca más a la situación real de los ecosistemas. Otro de los trabajos para estimar la incidencia de MN en linfocitos humanos con 80 ng/g de DDE, indicó un aumento significativo de estos frente a los controles, indicando la sensibilidad de las células a esta presencia con la ruptura de zonas de cromosomas que forman dichas estructuras (Ennauseur *et al.*, 2007).

Pérez *et al.* (2004) estuvieron interesados en valorar la acción apoptótica del DDT en células mononucleares de sangre periférica de humano. Utilizaron citometría de flujo para sus estimaciones y comenzaron a detectar el efecto a las 12 h de la exposición con un máximo de respuesta a las 24 h de

incubación. Con este hallazgo, analizaron una población infantil con altos niveles de DDT en plasma y ratificaron alta respuesta de apoptosis, la cual estuvo relacionada con inmunosupresión.

En relación con las perturbaciones ecológicas no es posible conocer la cantidad total de DDT que se ha asperjado en el planeta; tan solo el dato que de 1966 a 1991 fueron  $1.5 \times 10^9$  kg habla de un exceso de peligro sobre la vida planetaria. La ONU (He, 2000) estimó tres millones de envenenamientos con 220,000 muertes; la mayoría de ellas por actividades ocupacionales y sobre todo en países en desarrollo. La Organización Panamericana de la Salud en 1990 registró 1,146 casos de intoxicación en el territorio mexicano.

Desde 1975 se hablaba del desbalance en las relaciones presa-depredador en poblaciones de pájaros rapaces, aumentando las poblaciones femeninas. Otro de los efectos de mayor importancia es la resistencia que los insectos manifiestan frente a las aspersiones de los productos sintéticos. Una de las enzimas que se ha estudiado es la glutatión transferasa, que cataliza la conjugación del glutatión con el DDT pero los datos de resistencia enzimática incluyen esterasas y monooxigenasas y ascienden a los centenares. Esto genera formulaciones más agresivas que a su vez aumentan la carga de contaminantes en los recursos bióticos y abióticos, para el hombre responder con nueva carga de producto.

Se han dado a conocer diversos accidentes ecológicos a causa de la contaminación por estos compuestos. Entre ellos se pueden citar: la muerte de 18,000 focas en el Norte de Europa en 1988; 144 millones de peces muertos en 4,200 accidentes ecológicos durante 30 años en los EUA. En Salvard, Noruega el decremento de testosterona en los osos polares y las modificaciones en su desarrollo postnatal. En 1999, Guillette *et al.* citaron prevalencia de cáncer en perros, criptorquidias e hipospadias en panteras de Florida y penes anormales en cocodrilos. Otro rasgo de la contaminación es la biomagnificación de los compuestos mencionados en los mamíferos marinos, los cuales son la base de la alimentación de poblaciones humanas que viven en los litorales. Desde 1984 se había estimado que los delfines acumulaban siete órdenes de magnitud de DDT en relación con su hábitat marino. Se

considera más perniciosa la toxicidad de los derivados metil-sulfonados que han sido estudiados en Groenlandia. La zona contigua al Mar de Aral en 2006 se consideraba como el ecosistema donde las concentraciones de DDT y DDE en sangre de mujeres preñadas y cordón umbilical de los niños tenía el registro más alto.

El Programa AMAP (*Arctic Monitoring Assessment Program*) es una estrategia de investigación que pretende conocer el contenido de diversos tóxicos y entre ellos el DDT y DDE en sangre y cordón umbilical en poblaciones de ocho países del contorno ártico (Eik *et al.*, 2007). El estudio de la Reserva Natural de Krivoklatsko en el Centro de Europa es otro proyecto de investigación de cobertura auspiciada por Organismos intergubernamentales como la UNESCO y tuvo el objeto de conocer y tomar medidas para cuidar la biodiversidad en espacios no tocados por la actividad antropogénica. Encontraron una variedad de sustancias tóxicas y en ella los isómeros o,p' p,p' de DDE, DDD y DDT en concentraciones no objetables (Kocí *et al.*, 2007).

### **Legislaciones**

Es claro que los Organismos Internacionales por medio del *Codex Alimentarius* a lo largo de su empleo han establecido límites en su uso (LMR). Después de reconocer su presencia en la leche humana en 1951 y en otros productos alimenticios, se estableció el límite de 0.05 mg/kg en base grasa y en 1993 de 1.25 mg/kg. Esta norma ha evolucionado en relación inversa a los estudios de sus efectos y el *Codex Alimentarius* en 2005 ha marcado como límite de su presencia 20 mg/kg.

### **Estrategias de solución**

Paralelamente a los resultados de secuenciación de fragmentos de genes que son afectados por el DDT y el DDE han aparecido en la literatura resultados de fitorremediación, de biorremediación, e igual se aborda el tratamiento al paludismo en amplias regiones del mundo con la aplicación de vacunas y con la siembra de plantas como la artemisina, de la cual está en su etapa

inicial el estudio de algunos de sus genes, ya que es empleada regionalmente en el combate a la malaria. Otra propuesta reciente para el control de la malaria ha sido la modificación genética de organismos vectores con la eliminación de la capacidad transmisora de la enfermedad. También se promueve el uso de bioplaguicidas para el control de los vectores de enfermedades. Se aprecia un dinámico avance en el conocimiento de los efectos del xenobiótico y se buscan alternativas para sustituir su uso. Sin embargo, poblaciones africanas han vuelto a utilizarlo para combatir los daños de las enfermedades ya mencionadas.

### **Actualidades y perspectivas en el campo**

La Organización Panamericana de la Salud (PAHO) tiene un programa de vigilancia acerca de tóxicos en Mesoamérica favoreciendo la detección en suelo y en muestras biológicas. Han elegido entre estas a tejidos de peces y sangre de niños. Para México ha calculado el contenido promedio en estos últimos en 50.2 ng/mL. Prevalece el señalamiento que el DDT es un contaminante ambiental ubicuo hallándose de manera general este orden: DDT>PCB>HCH>HCB y se han agregado a estos compuestos los clordanos, derivados bromados (PBDEs), perfluorados (PFCs), dioxinas, e hidrocarburos poliaromáticos (PAHs). Bajo esta situación ha aparecido una forma de estudio llamada “Toxicología de las mezclas” porque en el ambiente no se encuentra un solo compuesto y sus efectos en muchas ocasiones se infieren en sinergias complejas no lineales. Aún más, las sinergias que ocupan la atención de investigadores se refieren a plaguicidas organoclorados y metales pesados como el cadmio y han encontrado indicadores de estos efectos en la densidad mineral ósea. Otra sinergia estudiada ha sido con los policlorobifenilos, los cuales son muy utilizados en la vida moderna y el indicador idóneo para medir esta respuesta ha sido la expresión de interleucina-16 en linfocitos T.

El programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en su Convención en Estocolmo en mayo de 2005 consideró urgente la eliminación de 12 compuestos altamente tóxicos y entre ellos figuraba el

DDT. Sin embargo, en 2006 la propia OMS y la Agencia para el Desarrollo Internacional en E.E. U.U. recomendaron las aspersiones intradomiciliarias para combatir los vectores del paludismo. Aproximadamente 14 países en el mundo aún lo usan y otros se están preparando para reincorporarlo con el objeto de abatir los efectos del paludismo. El organismo nacional mexicano que da normas para la fabricación, uso y aplicaciones de estos compuestos es CICOPLAFFEST, el cual mantuvo simplemente como restringido el uso del DDT. Actualmente, la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) lo consideran prohibido. Otra contradicción es que para 2008 había 494 estudios que asociaban al DDT con cáncer mamario, diabetes, descenso en la calidad del semen, abortos espontáneos y daños en el desarrollo neuronal. Se hace énfasis en la sensibilidad de las células germinales y cómo se ha afectado la fertilidad humana manifestada en la baja cuenta espermática y en las características del semen, en disfunciones sexuales, criptorquidia, hipospadias y cáncer testicular.

Se siguen presentando investigaciones sobre su acción disruptora de hormonas de tiroides, analizando que este efecto y la regionalidad están asociados y se hace especialmente evidente cuando las exposiciones son en las madres preñadas. Los derivados metilsulfonados del DDE (3-MeSO<sub>2</sub>-DDE) han expresado que afectan el CYP11B1 en ratón, forman aductos, reducen la secreción de glucocorticoides y provocan la muerte celular en la corteza adrenal en diferentes especies y líneas celulares como la H295R de células adrenocorticales.

Los mecanismos de acción son otro motivo del estudio actual y los hallazgos están en los ligandos entre estos xenobióticos y receptores de androstanos y sus potenciales de transactivación inducidos por los contaminantes, en los a-receptores de estrógenos, en la mutación de oncogenes y en la respuesta de retroposones.

Los modelos biológicos de organismos de alta fecundidad, rápida organogénesis, semejanza morfológica y fisiológica con mamíferos, así como fácil monitoreo a gran escala son elegidos para ciertos estudios, pero hay un gran paso en la utilización de modelos estocásticos basados

en árboles de regresiones para predecir la distribución ambiental de contaminantes orgánicos. Toman en cuenta fuentes primarias y secundarias y características como densidad de los asentamientos humanos, características geográficas, condiciones climáticas, uso y propiedades del suelo y densidad en la cobertura verde. Han estimado con un 65.4% de éxito la presencia de DDT.

Los estudios genéticos a base de cDNA, de genes reporteros *in vitro*, microarreglos, metilación del DNA, análisis de integridad de la cromatina y ocurrencia de leucemias en individuos sujetos a alta exposición por DDT son otro grupo de estudios de alta vigencia y de resultados más acuciosos en el campo de la salud.

Resaltan grandes campos del análisis acerca de la presencia de DDT en el ambiente: uno de ellos es la nutrición de las poblaciones animales y humanas que están incorporando este compuesto de efectos nocivos. Otro es el efecto ecológico que a mediano plazo repercute en la salud de las poblaciones. La recursividad de estos campos está asociada irreversiblemente y se agrava por las tendencias de su uso masivo.

### **Contenido en la leche**

La presencia de S-DDT (DDT+DDE +DDD) en la leche es una evidencia que tiene connotaciones diferentes en el mundo y depende de condiciones climáticas, socioculturales y políticas de salud que configuran un problema de salud pública. Las legislaciones internacionales y nacionales han establecido prohibiciones o restricciones en su uso y actualmente se aprecia una sensible disminución en su contenido. En 1999 se registró una reducción de 11-21% por año en EE.UU. y Canadá después de su reglamentación o prohibición y para Europa Occidental la reducción se calculó en 9-13% (Smith, 1999). De modo semejante, los contenidos de muestras de leche humana proveniente de Vietnam, China, Corea y Japón se han considerado en descenso; sin embargo en Beijing los datos en 2009 se estimaron entre 5 y 10 veces más altos que otros países. Como un ejemplo del contenido de DDT en leche en diferentes países, se describen resultados en la Tabla 1.

En la Tabla 2 se presentan datos de los contenidos estimados en leche de diferentes denominaciones en el territorio mexicano durante 35 años. Es notable apreciar que la leche humana contiene mayor contenido del DDT y de DDE, ya que se sitúa en la cúspide de la cadena alimentaria. Los valores más altos se registran en las madres de primera lactancia y mujeres lactantes de localización rural. Los contenidos aumentan con la edad y se han registrado asociaciones del DDE con alimentación abundante de pescado. Los productos lácteos que han sufrido tratamientos industriales con alza de temperatura modifican ligeramente sus contenidos y es constante la observación del contenido de estos compuestos en el cordón umbilical de recién nacidos en franca asociación con el contenido en sangre y en leche de las madres. Los resultados muestran un contenido descendente y los últimos estudios en una población del estado de Jalisco (Noa *et al.*, 2009) no lo encontraron objetable, mientras que en la zona tropical donde se ha asperjado este producto en mayores proporciones y que desde 1999 fue reemplazado por piretroides, la cantidad de DDT en leche vacuna registró entre 37 y 78 mg/kg en base grasa (Waliszewski *et al.*, 2003). Su contenido en leche de cabra proveniente del estado de Querétaro se estimó debajo de la norma con 12.57 mg/kg y 15.2% de frecuencia para el DDE pero superior para el S-DDT (Prado *et al.*, 2007).

Al mismo tiempo que el DDT o sus metabolitos se les encuentra en la leche, se han registrado otros compuestos de importancia toxicológica. Entre tantos, se ha elegido el análisis sobre la presencia del heptacloro y el cadmio por dos razones básicas: a) las evidencias los han señalado como xenobióticos que afectan procesos metabólicos y genéticos importantes, y b) porque su contenido en diversas modalidades lácteas se ha estimado arriba de los valores permitidos. Se presentan los aspectos más relevantes de estas sustancias, de manera sintética.

**Tabla 1.** Contenido de S-DDT en leche de regiones del mundo (Fuente parcial: Prado y de León, 2009. En prensa).

País	Modalidad de leche	S-DDT (mg/g base grasa)	Referencia
Canadá	Humana	0.946	Bjerregaard <i>et al.</i> , 2001
Indonesia	Humana	0.16	Durke <i>et al.</i> , 2003
Singapur	Humana	0.002 -0.012	Wurl <i>et al.</i> , 2005
China	Humana	0.228	Chao <i>et al.</i> , 2006
India	Vacuna	0.172	Naq <i>et al.</i> , 2008
Alemania	Humana	0.0815	Zietz <i>et al.</i> , 2008
Irán	Humana	2.5	Behrooz <i>et al.</i> , 2009
Vietnam	Vacuna	0.004-1.1	Hoai <i>et al.</i> , 2009
Noruega	Humana	0.041(0.005–0.492)*	Polder <i>et al.</i> , 2009
R. Checa	Humana	< 0.010	Cerná <i>et al.</i> , 2010

\* p,p'-DDE

**Tabla 2.** Contenido de DDT y DDE en muestras de leche en México (Prado y de León 2009. En prensa).

Localización	Modalidad láctea	$\Sigma$ -DDT (mg/g)	DDE (mg/g)	Referencia
C. Lagunera	2	0.09	0.82	Albert y Reyes, 1975
C. Lagunera	1	1.98*	10.3	Albert <i>et al.</i> , 1981
Morelia	1	4.41	3.7	Slorach y Vaz, 1983
C. de México	1	1.74	1.47	Viveros y Albert, 1990
Valle del Yaqui	1		6.31	García B. y Meza M., 1991
Tabasco	1	3.5		Herrera, 1993
Sonora	1		2.5-12.5	Gladden y Rogan, 1995
C. de México	1		0.594	Lopez <i>et al.</i> , 1996
Veracruz	2		0.53	Waliszewski <i>et al.</i> , 1996
Veracruz	1	1.27	5.02	Waliszewski <i>et al.</i> , 1996



Veracruz	4		0.032	Waliszewski <i>et al.</i> , 1996
C. de México	3	0.12		Prado <i>et al.</i> , 1998
Veracruz	1	5.72	3.885	Waliszewski <i>et al.</i> , 1998
Veracruz	5	5.51	4.776	Waliszewski <i>et al.</i> , 1999
C. de México	1		0.594	Torres <i>et al.</i> , 1999
C. de México	4	0.012		Vega <i>et al.</i> , 2000
C. de México	6	0.27	0.09	Prado <i>et al.</i> , 2000
C. de México	1	0.076-10.3		Terrones <i>et al.</i> , 2000
Veracruz	4	0.043		Waliszewski <i>et al.</i> , 2003
C. de México	1	2.55	2.31	Prado <i>et al.</i> , 2004
Querétaro	7	0.065	0.0126	Prado <i>et al.</i> , 2007
Jalisco	2	0.0014		Real <i>et al.</i> , 2008
Veracruz	1	1.423		Waliszewski <i>et al.</i> , 2009

<sup>a</sup> Modalidad: 1=Leche humana, 2=Leche vacuna cruda; 3=Leche vacuna pasteurizada; 4=Mantequilla; 5=Calostro humano 6=Leche reconstituida; 7=Leche de cabra.

## HEPTACLORO

### Generalidades

El heptacloro (H) tiene por nombre químico 1,4,5,6,7,8,8-heptacloro-3a,4,7,7a-tetrahydro-4,7-endo-metilenindeno, y se le conoce en el medio comercial con los términos Termide, Drinox, Heptagan o Velsicol. Su principal metabolito es el epóxido de heptacloro, 1,4,5,6,7,8,8-heptaclor-2,3-epoxi-3a,4,7,7a, tetrahydro-4,7-endo-metilenindeno, el cual tiene una estabilidad mayor que el compuesto original.

Este plaguicida comenzó a usarse desde 1952 en aplicaciones foliares, al suelo y como protector de la madera. De 1975 a 1976 se estimó la producción de  $4.5 \times 10^6$  kg en EE. UU., usándose como insecticida sobre 22 cultivos. Debido a su alta estabilidad química y a la difusión por las cadenas tróficas, se

le encuentra en múltiples recursos: i) suelo, aire y agua; ii) organismos tanto vegetales y animales, terrestres y acuáticos; iii) órganos como hígado, riñón y hueso; y iv) alimentos con alto contenido de grasa como la leche y la carne.

El fenómeno de biotransformación del H en EH depende de su localización y del tiempo. Esta cinética de epoxidación se ha estimado en 3.9 años para degradar el 95% del H en EH. El proceso se realiza en el tejido graso y en el hígado y por tal razón dichos compuestos se acumulan y desde ahí son excretados a la leche, dependiendo de su movilización.

### **Efectos sobre la salud**

La presencia de H en animales, líneas celulares de experimentación o alimentos grasos se ha asociado con daños metabólicos y genéticos. Entre los primeros, se reconoce que alteran respuestas de sistemas nervioso, endocrino e inmunológico y aparatos como el reproductivo. Responde *in vitro* sobre la señalización celular modificando factores de transcripción, reguladores de señales en la división celular, comunicación y apoptosis (Okoumassoun *et al.*, 2003). También ha manifestado efectos citotóxicos y genotóxicos. Se le considera factor de riesgo en diversos procesos oncogénicos como cáncer de próstata (Cassidy *et al.*, 2005), cáncer mamario y con hepatoblastoma en ratón (Hansen y Matsumura, 2001), así como aumento en la incidencia de carcinoma hepatocelular y colangiocelular. Por lo mismo, la *International Agency of Research on Cancer* (IARC) lo evaluó como carcinógeno en ratón (Bartch y Malaveille, 1989) y actualmente está clasificado en el grupo 2B como posible carcinógeno en humanos.

El EH comparte algunas respuestas de su progenitor, y, adicionalmente, su grupo epóxido interviene en reacciones específicas que le confieren mayor toxicidad. Hay evidencias de su capacidad de disruptor endocrino (Laville *et al.*, 2006), de depresión de respuestas inmunes (Smialowicz *et al.*, 2001), acción neurotóxica conectada con las vías dopaminérgicas (Miller *et al.*, 1999) y los receptores de GABA (Caudle *et al.*, 2005). Expresa daños reproductivos como alteración en el descenso testicular (Barlow *et al.*, 2005). Se han reconocido efectos citotóxicos y genotóxicos sobre

linfocitos humanos y en las líneas celulares TK6 y K562 (Prado *et al.*, 2009b). Se ha dado información acerca que el heptacloro y su epóxido inhiben la comunicación celular en los mecanismos de reparación por escisión del DNA a nivel de la participación inadecuada de la ligasa que interviene en el proceso normal (Nomata *et al.*, 1996).

Diversos investigadores conectan sus efectos con el mecanismo de producción de especies reactivas de oxígeno (ERO). Se puede pensar que esta excesiva producción está relacionada con las evidencias anteriormente comentadas: i) la disrupción endocrina expresada en los experimentos de Dehn *et al.* (2004) y Laville *et al.* (2006); ii) el comportamiento de las isoformas de Bcl-2 y su vinculación con la apoptosis (Okoumassoun *et al.*, 2003); iii) es factible conectar el daño inmunológico analizado por los estudios de Rough *et al.* (1999) y los datos reproductivos así como de los macrófagos y neutrófilos en los procesos inflamatorios presentados por Smialowicz *et al.* (2001); y finalmente iv) es posible que el bloqueo de mecanismos de reparación del DNA sea una consecuencia del daño que las ERO generan en las bases que constituyen la estructura del DNA (Laouedj *et al.*, 1995; Nomata *et al.*, 1996).

Entre las propiedades químicas, la quiralidad ha sido analizada en relación con la toxicidad de enantiómeros del heptacloro y los estudios lo consideran importante en este renglón.

### **Actualidades y perspectivas en el campo**

Se exploran bioindicadores histocitopatológicos y bioquímicos en etapas especialmente sensibles en los procesos de diferenciación celular. Se amplía el análisis de las modificaciones de enzimas implicadas en la actividad respiratoria, del DNA mitocondrial que es más sensible que el nuclear y las actividades catalíticas relacionadas con la descontaminación a los xenobióticos.

Se mantiene el interés por su influencia en la enfermedad de Parkinson ya que la información actual sugiere que las exposiciones en edades tempranas repercuten en daños a edades avanzadas.

Con los recursos geoespaciales se están conformando mapas de multi-toxicidad y se han encontrado diferentes patrones regionales relacionados

con plaguicidas y metales con la diferenciación para los sujetos entre zonas de contaminación aguda y contaminación crónica. Una característica esencial es que se ha tomado su residualidad como un indicador de persistencia. De esta manera se perfilan nuevos indicadores de toxicidad que expresan bajas capacidades de supervivencia. Se están desarrollando modelos estadísticos multivariados orientados hacia la predicción de sus efectos y las variables fundamentales son la dosificación de aductos, calidad y familias de oncogenes y tumorigénesis y se están obteniendo resultados por simulación que mejoran el conocimiento de este xenobiótico.

### **Presencia en la leche**

El H y el EH han estado presentes en las muestras de leche de poblaciones del territorio mexicano. Su presencia se muestra en la Tabla 3, tanto en la zona Norte como en el Centro del país, en sitios de clima tropical o semi-templado (Viveros y Albert, 1990; García-B. y Meza-M., 1991 [citados por Prado *et al.*, 2004]; y Waliszewski *et al.*, 2003). El muestreo de leche pasteurizada de la zona metropolitana se encontró en 0.15 µg/g base grasa, el cual correspondió al umbral del LMR establecido por el *Codex Alimentarius 1993* (Prado *et al.*, 1998). La concentración de los mismos compuestos en un muestreo de leche reconstituida se calculó 3.7 veces arriba del límite mencionado (Prado *et al.*, 2000) y se estimó que 23.9% de las muestras de leche humana estudiadas provenientes de la Ciudad de México (Prado *et al.*, 2004) contenían 0.26 µg/g base grasa de H + EH, concentración 2.07 veces superior a la Ingesta Diaria Admisible (ADI), que se hizo manifiesto en 36.2% de las muestras analizadas. En la zona metropolitana de Guadalajara, Jal., en 1998 el 95% de la muestras registró H+EH y 27.3% de ellas sobrepasó el límite recomendado por los Organismos Internacionales (Real *et al.*, 2008); sin embargo, en el estudio realizado en 2008 ninguna muestra sobrepasó dicha recomendación. Los contenidos residuales de este par de tóxicos han disminuido considerablemente; sin embargo, los datos de 2007 en leche de cabra de 35.65 ng/g señalan presencia objetable de los dos compuestos en relación a los límites establecidos por FAO/OMS

que en su versión de 2005 han establecido 6 ng/g base grasa y ADI en 0.5 µg/kg peso corporal/día.

Los datos referidos en la literatura entre los años de 1992 a 2000 oscilaron entre 0.0009 µg/g y 0.70 µg/g base grasa en Jordania, Brasil, Francia, Nicaragua, España y Turquía, siendo los más bajos los registrados en España y los más altos en Jordania. El organismo nacional (CICOPLAFEST) no tiene contemplada legislación para el heptacloro, pero restringe el uso del clordano que es un metabolito del H.

**Tabla 3.** Presencia de Heptacloro y Epóxido de Heptacloro en leches originarias de México (Modificado de Prado *et al.*, 2004).

Categoría láctea	LMR	Contenido de heptacloro + epóxido de heptacloro (mg/g base grasa)	Referencia
Leche humana		0.24*	Viveros y Albert, 1990
Leche humana		1.24	García y Meza, 1991
L. vacuna pasteurizada	0.15	0.15	Prado <i>et al.</i> , 1998
Leche reconstituida		0.56	Prado <i>et al.</i> , 2000
Mantequilla		0.05	Vega <i>et al.</i> , 2000
Leche humana		0.26	Prado <i>et al.</i> , 2004
Leche de cabra	0.006	0.036	Prado <i>et al.</i> , 2007

\*EH.

## CADMIO

### Generalidades

Entre los metales tóxicos que pueden contaminar la leche se encuentra el cadmio. Este elemento no es esencial en los organismos; sin embargo, se le encuentra en ellos porque es bioacumulable y persistente. Se obtiene como subproducto de procesos industriales y puede entrar a la leche por las siguientes vías: i) transporte a lo largo de las cadenas tróficas, ii) la alimentación misma, iii) contaminación residual de la industria, iv) contacto con material de empaque, v) recipientes que liberan contaminantes y vi) procesos de mineralización que tienen lugar en la corteza terrestre.

### **Farmacocinética**

El cadmio se absorbe y acumula en las raíces de las plantas porque inicialmente se le encuentra en el suelo; de los vegetales puede pasar a los animales. Puede inhalarse, siendo sus partículas especialmente dañinas y también penetrar a los organismos por la vía gastrointestinal. Dentro de ellos, se le encuentra en huesos, órganos blandos y de modo selectivo en hígado y riñón, siendo éste muy afectado por los procesos de resorción. Su excreción es por la orina y por las heces (Baranowska *et al.*, 2005). Una característica que señala su peligrosidad es que su vida media es aproximada de 30 años, se transfiere de la madre a las crías y tiene selectividad por los tejidos blandos.

### **Efectos sobre la salud**

La IARC ha clasificado al cadmio como carcinógeno para el humano en el Grupo 2B. Datos de investigadores han estimado que el anión sulfato fue más agresivo que el cloruro (Mourón *et al.*, 2001). Se apreció que una sola inhalación provocaba un daño sistémico y que unos órganos sufrían menos daño que otros en periodos prolongados (Valverde *et al.*, 2000). En las exposiciones agudas, el hígado tuvo alta presencia de citoquinas, hubo una clara respuesta de hiperlipidemia, generación de radicales de oxígeno y fibrogénesis. Se deprimió el nivel de antioxidantes endógenos como el glutatión reducido por la generación de radicales superóxido (Souza *et al.*, 2004).

Entre los efectos reconocidos del cadmio está su acción sobre el DNA manifiesto en la época de la lactancia con efectos sobre la glándula mamaria (Ohrvik *et al.*, 2006); está el cáncer pulmonar en fumadores (Milnerowicz *et al.*, 2005) como en poblaciones de trabajadores de las industrias textil y curtiduría y en daños inmunológicos (Pillet *et al.*, 2005). Las bases de datos relacionadas con los efectos en humanos asocian la acumulación de cadmio *in utero* con i) trastornos teratogénicos y efectos sobre el eje hipotálamo-hipófisis; ii) daños posteriores en la percepción; iii) comportamientos motores; iv) respuestas inmunológicas suprimidas a edades escolares; v) enfermedades renales y osteoporosis en edades tardías (Schoeters *et al.*, 2006).

Diversos estudios muestran las exposiciones al cadmio que se hacen manifiestas con su contenido en la leche y que son un indicador de riesgo. Estudios en Francia, Italia y Austria los consideraron debajo de la norma (Maulmerat *et al.*, 2002; Ghidini *et al.*, 2005; Gundacker *et al.*, 2007); en EE. UU. Schaum *et al.* (2003) consideraron elevado el resultado obtenido. Se calculó el residuo en la leche de mujeres polacas en relación con el hábito de fumar (Milnerolwicz *et al.*, 2005); en el calostro de mujeres sanas griegas (Leotsinidis *et al.*, 2005); para analizar la influencia de las zonas industriales en Eslovaquia (Ursinyova y Masanova, 2005); en España como el cálculo de la ingesta diaria de cadmio bajo un dieta convencional (Bocio *et al.*, 2005). También se presentan datos del territorio nacional en leches comerciales y de establos lecheros bovinos provenientes de Monterrey y de la Ciudad de México (Rodríguez *et al.*, 2004; Ayala, 2005). Dichas estimaciones se ubican en la Tabla 4. Las actividades del progreso tecnológico en el múltiple empleo de recursos industriales y desechos industriales, de equipos electrónicos, de sistemas energéticos llevan este metal hasta la leche en consorcio con otros metales y con otros compuestos tóxicos como viene siendo estudiado (Prado, 2009b).

### **Actualidades**

Se buscan recursos metodológicos para medir con mayor sensibilidad, selectividad, estabilidad y resolución su presencia en los recursos bióticos y abióticos. Así la literatura refiere cada vez con mayor frecuencia la extracción asistida del metal por métodos de microondas o de sonicación, el empleo de la espectrometría de masas acoplada a plasma, la inclusión de nanopartículas que mejoran el límite de detección en la determinaciones analíticas o los métodos voltimétricos. Se incorporan los conocimientos de las características fisicoquímicas del metal en los fenómenos de distribución particulada del metal en diferentes sustratos.

Con modelos de predicción de metales se estudia la posible presencia del cadmio en alimentos como la leche y sus derivados. Dichos modelos están siendo abordados mediante la configuración de características fisico-

químicas del metal como el peso molecular de la especie química, su punto de fusión y punto de ebullición, mientras que de la leche intervienen como predictores el pH, el porcentaje de grasa y el peso específico.

El radio del conocimiento se amplía con mayor evidencia y mayor especialización al considerar fenómenos de competencia entre los transportadores de calcio que son utilizados por el cadmio para entrar a la leche y la competencia con el hierro y el manganeso al medio celular.

Las sinergias entre los hidrocarburos clorados y los metales pesados ocupan buen parte de los estudios actuales por las razones de la evolución propia del conocimiento y sobre todo porque la problemática de la contaminación se da en medios complejos donde las aplicaciones de ellos, las actividades antropogénicas y los procesos de mineralización contribuyen en formas diversas y siempre nocivas para la salud y el ambiente. Sobresale la atención en el estrés oxidativo producido por la interacción de factores de orden material y de orden de comportamiento múltiple. Prevalece el entendimiento de mayores daños dados no solo por la sumatoria de los efectos particulares sino por las interrelaciones que se generan entre ellos y la mayor susceptibilidad en los tejidos animales.

Otro motivo significativo se da en las exploraciones de recursos de biorremediación. Se analizan simbiosis de leguminosas con bacterias del Género *rhizobia* y se han dado datos sobre la acumulación del metal en los nódulos de los sistemas simbióticos. También se aprecian los beneficios de protección a la incorporación del cadmio por lactobacilos, obteniendo de este consumo mayor crecimiento y viabilidad, así como disminución en la lipoperoxidación de los sistemas huéspedes. El empleo del cDNA que codifica fitoquelatina sintasa de *Arabidopsis thaliana* con tetrámeros de metalotioneína es otro recurso empleado en la captura del cadmio en sistemas biológicos.

### **Presencia en la leche**

Su presencia en la leche está en franca relación con la naturaleza del suelo, el contenido de cadmio en el mismo, la cercanía de las industrias



y las carreteras y se acumula a lo largo de los eslabones de la cadena trófica, que en este caso son el agua, los pastos y cereales hasta llegar a su destino que es la leche.

El *Codex Alimentarius* ha establecido como límite del contenido de cadmio en leche 20 mg/kg y la Federación Internacional de Lechería propuso 7 mg/kg peso corporal/semana para adultos. Algunos países han restringido de una manera más exigente la presencia del cadmio desde la década de los 90', entre ellos Alemania, Holanda y Hungría.

**Tabla 4.** Contenido de cadmio en leche y derivados

Producto	Concentración de cadmio (mg/kg)	País	Referencia
Leche	< 20	Italia	Ghidini <i>et al.</i> , 2005
Leche orgánica	< 20	Francia	Malmauret <i>et al.</i> , 2002
Leche humana	0.36 (0.15 - 0.87)	EE.UU.	Schaum <i>et al.</i> , 2003
Leche humana	0.086 ± 0.085	Austria	Gundacker <i>et al.</i> , 2007
Calostro	0.19 ± 0.15	Grecia	Leotsinidis <i>et al.</i> , 2005
Leche humana	0.43	Eslovaquia	Ursinyova y Masanova, 2005
Dieta diaria	14.3 mg/día	España	Bocio <i>et al.</i> , 2005
Leche cruda vacuna	280 - 310	Monterrey, México	Rodríguez <i>et al.</i> , 2004
Leches comerciales	> 20	C. de México	Ayala, 2005

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los datos presentados sobresale la ubicuidad del DDT, dada por sus características de baja capacidad de degradación y exceso en su manejo. Igualmente resalta la presencia del DDE como un metabolito especialmente tóxico evidenciado por los estudios crecientes a lo largo de unos cincuenta años. De este modo, la relación DDT/DDE da cuenta de la aspersion del plaguicida original frente a la presencia del metabolito fundamental. Aunque es un parámetro usual, es poco definitorio de la complejidad del fenómeno.

El par heptacloro-epóxido, donde el metabolito es más tóxico que su progenitor, impone otra valoración de riesgo. También ha sido utilizado de un modo excesivo sobre la biosfera y sus características de larga vida media expresan una capacidad de permanencia tanto en las estructuras bióticas como en las abióticas. El cadmio comparte la capacidad de estabilidad química e igualmente expresa su propia toxicidad frente a los sistemas vivos, por tanto los tres grupos de sustancias hablan de riesgos serios.

No es inverosímil que uno de los mecanismos que los tres compuestos comparten es la producción de EROs, los cuales han sido señalados como inductores de daños a escalas nanomolares, en tiempos cortos y en reacciones de alta sensibilidad como es el estatus redox celular sobre sustratos de las redes metabólicas responsables de los intercambios de energía y del propio genoma. Por otro lado, la naturaleza y acción de estos radicales sobre las biomoléculas i) expresan alta reactividad química, ii) son electrofílicos, iii) ejercen acción oxidante intensa, y iv) tienen vidas medias cortas. Las biomoléculas son altamente nucleofílicas y tienen una alta sensibilidad por estos factores. Tanto las estructuras tridimensionales de los ácidos nucleicos como de las proteínas están codificadas para funciones específicas, de modo que la calidad y la cantidad de información que poseen las hace más sensibles a factores endógenos y exógenos. Es importante resaltar el efecto que la peroxidación ejerce sobre las membranas celulares, las cuales por su diversa constitución son el microambiente para las proteínas ensambladas en ellas y al perturbar su fluidez hay cambios sustanciales en el medio intracelular como en el extracelular. Por su parte los carbohidratos son sensibles a la degradación y a la agregación.

Las determinaciones analíticas señalan que la leche es sensible a contener estos tres tipos de productos peligrosos y la información en el campo permite inferir que los residuos pueden abarcar mayor número de compuestos y en cantidades peligrosas, lo cual aumenta los riesgos. Desde el ángulo de estudio se puede formular la hipótesis que en la medida que la leche contenga mayor número de sustancias extrañas, sus posibles interacciones potenciarán en los consumidores modificaciones metabólicas, es-

trés oxidativo, disrupción endocrina y daños genéticos, así como perjuicios ecológicos con comportamientos no lineales.

Entre los factores que aumentan los efectos de la contaminación global se pueden citar: i) el exceso de producto asperjado sobre cultivos, sistemas ganaderos y los intradomiciliarios; ii) la exposición laboral en formulación, producción, distribución y manejo de estos compuestos; iii) el escaso cuidado de las normas de seguridad en las aplicaciones en la agricultura y ganadería; iv) la ingesta predominante de alimentos de origen marino; v) las condiciones climáticas de humedad y temperaturas elevadas; y vi) las políticas públicas deficientes o no ejercitadas. La conjugación de varios de estos agentes, de los cuales cada uno de ellos podría considerarse como un punto crítico de control en la seguridad de las poblaciones, aumenta las probabilidades de riesgo. Por lo mismo, los grupos humanos que están más expuestos al impacto de la contaminación son los trabajadores en las áreas enunciadas, las mujeres gestantes, los niños, los ancianos y las poblaciones desnutridas. Por otro lado, la zona del planeta que ejerce mayor carga contaminante es la franja tropical, la cual además expresa una alta demografía.

Se ha elegido la leche y sus derivados como campo de abordaje del contenido residual de diversos contaminantes porque representa un buen modelo para analizar, explicar y predecir sus alcances y porque puede ser llevado a otros sistemas de estudio mediante las adaptaciones pertinentes. El criterio para seleccionar los tres xenobióticos ha sido la frecuencia de su presencia, su grado de toxicidad y el volumen de aplicaciones o la ubicuidad dada por las actividades antropogénicas. El análisis que en este caso se hace es además relevante por la importancia nutricional de la leche y los riesgos acerca de los perjuicios a la salud y al ambiente sustentados por las evidencias actuales.

La connotación cuantitativa de un xenobiótico en la leche es importante pero no suficiente. La interrelación cuantitativa-cualitativa lo es en mayor grado, pero tampoco es exhaustiva, a pesar que la investigación formal expresa efectos puntuales de su acción sobre los procesos vitales a diferentes escalas de complejidad.

Adicional a la visión periférica de tal cambio o tal señal, el puente entre los aspectos cuantitativos y cualitativos de estas sustancias propone criterios complejos de análisis porque el contexto aborda aspectos sanitarios, productivos, económicos, transnacionales, organizacionales, cognitivos, experimentales y éticos por citar los evidentes. Por lo mismo, propone actitudes de carácter global, unas abstractas y otras concretas frente a las serias probabilidades de disminución en la calidad de vida en la múltiple gama de habitantes del planeta.

La interacción xenobiótico-organismos vivos-ambiente es por demás compleja, desde cualquier plataforma seria de análisis. La simple intrusión de una molécula sintética —y ahora comprendemos que cada vez son más numerosas— está frente a la densa evolución biológica de millones de años. Bien se sabe que los fenómenos vitales se sostienen en la integración de las propiedades y estructuras físicas y químicas. Citamos las básicas: i) los intercambios de materia y energía; ii) las propiedades y acciones de cada componente que en su conjunto generan fuerzas, competencias, sinergias y antagonismos; y iii) los tiempos geológicos, como el medio en el que se expresa un dinamismo constante. Ello ha conformado condiciones reguladas de gases en la atmósfera terráquea, sales en el agua de mar, perfiles minerales en la geosfera, interrelaciones planetarias y un enjambre de relaciones cósmicas. Tales condiciones han propiciado la vida en el planeta y los organismos no solo aprovechan el mundo geofísico sino que intervienen con modificaciones sobre él, constituyendo núcleos plurales de vivientes en un amplio intercambio con el medio del cual deriva su subsistencia y su desarrollo y que por siglos se ha mantenido con un rango de equilibrio planetario.

Si consideramos que la actividad biológica es compleja, no podemos sin menguar la premisa, analizar la interacción xenobiótico-proceso vital-medio ambiente sin adecuaciones complejas. La complejidad del proceso supera nuestro intento de abarcarlo a completud. Al referirnos a algunas consideraciones exponemos nuestra propia limitación de la comprensión del fenómeno y por otro lado, tenemos en la mente una búsqueda que nos introduce en el asunto en cuestión. La complejidad vital se manifiesta de

forma holística. Hay en ella una red en que se integra una economía, una flexibilidad, una organización, una información circulante, una capacidad de contender con la entropía, una constante valoración del medio, una sabiduría y un rango de posibilidades reguladoras que mantienen la autonomía y la autopoiesis del ser vivo. La sustancia extraña en muchas ocasiones y de muchas maneras interrumpe o modifica la organización de los procesos y produce el daño.

La complejidad de la introducción de uno o muchos xenobióticos al medio vivo y al ambiente puede ampliarse con tres conceptos: i) La intervención entrópica en la actividad celular con los resultados de alteración, en ocasiones irreversible de la maquinaria autónoma; ii) El conocimiento de la Teoría General de Sistemas que von Bertalanffy propusiera, la cual es un fundamento teórico en el entendimiento de la actividad biológica; iii) la propuesta de las estructuras disipativas que se ha descrito como ejercicio de la adaptación de lo viviente a condiciones nuevas. El análisis de estos tres conceptos amplía nuestro conocimiento en el campo que ahora se revisa.

### **Entropía**

Dado que la entropía ( $S$ ) es el conjunto de estados posibles que puede expresar una variable, y que en el campo de la biología su significado generalmente se acota al de desorden, es pertinente considerar la inclusión de una sustancia extraña en un organismo —cual sistema abierto—, como una señal probabilística de desorden.

Aún más, el Principio de Máxima Entropía (PME), que es un principio de inferencia estadística y cuya elaboración se sitúa entre la mecánica estadística y la teoría de la información, habla de la distribución de la probabilidad asociada a un conjunto de eventos. El concepto de ( $S$ ) o ( $DS$ ) en la teoría de la información es una medida de la incertidumbre de un conjunto de eventos, la cual está contenida en un mensaje asociado a variables aleatorias y que crece proporcionalmente con la información que falta. Es contundente la relación que existe en la información como abstracción y con la información codificada en moléculas clave como

DNA y proteínas en los organismos vivos. Ya que la PME se maneja como un criterio construido para el establecimiento de distribuciones de probabilidad sobre la base de un conocimiento incompleto, S o DS pueden considerarse como incertidumbre.

Por otro lado, el Principio de Razón Insuficiente (PRI) asigna las probabilidades de ocurrencia a dos eventos si no hay suficiente información para pensar lo contrario. Las controversias emitidas por diversos autores se resuelven a favor del tratamiento matemático bayesiano, el cual introduce la subjetividad como intervención del observador en el conocimiento incompleto de los sucesos. Por tanto, se emplea como un criterio para determinar la esperanza de valores termodinámicos.

La distribución de probabilidad que se obtiene según PME es la mejor predicción sobre la base de la información disponible y por ahora se acepta como un método completamente válido y robusto para asignar probabilidades sobre la base de información incompleta.

Para nuestro caso, el introducir una o diversas variables aleatorias —concentraciones de sustancias extrañas— en el sistema vivo, conduce a un nivel de incertidumbre difícil de ser calculado, lo cual perturba el orden, condición fundamental de la estabilidad de los organismos.

La entropía, entonces, dentro de los sistemas abiertos como son los organismos vivos y como un componente de todas las interconversiones energéticas, mantiene la organización sistémica mediante el aumento de la entropía del entorno. La incorporación de las sustancias extrañas al medio celular impone una reorganización. Como parte de dicha autorreorganización se puede considerar el trabajo de los sistemas enzimáticos antioxidantes por regular el estado redox interno, que siendo la expresión de una estabilidad funcional, es a la vez la condición que permite otras acciones de orden. Si no puede ser regulada esta acción de desorden, se hacen manifiestos los daños.

El fenómeno vital en cada compartimento de acción es dinámico; por lo mismo, es dinámico en su totalidad sin perder el orden. El manejo del cambio como una posición termodinámica en la actividad de lo vivo es

una necesidad resuelta en ciertos umbrales. No se da este fenómeno en condiciones que llamaríamos extremas, ya sea temperatura, concentración de algún sustrato, y por lo mismo, es plausible considerar que concentraciones altas de sustancias peligrosas están fuera de la regulación ordinaria.

### **La Teoría General de Sistemas (TGS)**

Es una concepción que estudia la organización de un sistema complejo compuesto de interacciones complejas como un todo unificado. Es un esfuerzo interdisciplinario donde la integridad del sistema se estudia científicamente. La TGS incorpora conceptos de información, transiciones, control y dirección hacia el equilibrio. Incluye un macizo tratamiento matemático: modeliza las dinámicas del organismo hacia la homeostasis, los procesos teleológicos de retroacción y las condiciones de estabilidad de los sistemas. Involucra el carácter de autoorganización de los sistemas en términos de los organismos y conceptos biológicos, así como la subjetividad. Entiende que los organismos evolucionan hacia la organización del sistema acoplado a un medio y que hay una comunicación a través de un flujo de información. En resumen, la TGS entiende la autoorganización como el resultado de comportamientos de coherencia colectiva y coordinada por un gran conjunto de elementos: partículas, sustancias, células, y especies dentro del propio sistema. Insiste en la importancia de interacciones internas hacia la producción de un orden global con la autodeterminación de reglas y objetivos a través de su dinámica, la que llama “flujo de equilibrio”. La relación estructura-función cambia de concepción desde una óptica mecanicista a otra que es organísmica y tiene el objeto de mantener la autonomía. El objetivo esencial es la generación de un orden, manifiesto en su devenir.

La TGS estudia los procesos de la integralidad en un enfoque científico con tratamientos matemáticos, con conceptos referentes a la estructura jerárquica, a la estabilidad teleológica, diferencias y mantenimiento de estados estables. Se incluye en esta visión la Teoría de Sistemas Dinámicos, la de Autómatas Celulares, el Análisis de Sistemas, y la Teoría de Grafos con conceptos diversos según sus campos de estudio. Ejemplos de ello son la

retroacción y estabilidad operativa como la comunicación e interdependencia de las partes del sistema. Hay una gran cantidad de métodos matemáticos que explora los mecanismos de autoorganización, lo cual es una posición de enorme ventaja como una base sobre la cual se puede continuar un diálogo interdisciplinario entre físicos, biólogos, economistas, sociólogos, psicólogos, neurocientíficos y filósofos. Algunos autores lo consideran un modelo de epistemología compleja, que ha superado la visión reduccionista de una sola disciplina.

Otro aspecto que es fundamental en conexión con los sistemas vivos es que las estructuras jerárquicas superiores dependen de estructuras jerárquicas inferiores y al mismo tiempo estas son agentes causales de efectos en las más elaboradas. Hacer un puente entre la TGS y nuestro modelo de estudio de introducción de sustancias peligrosas a los sistemas autoorganizados significa que la funcionalidad de moléculas de alta organización como genes y proteínas es influida por sustratos, agua, iones, metales y, en su caso, los compuestos de estudio ya sea DDT u otro xenobiótico.

Es evidente la observación que hay un cambio de paradigma hacia los sistemas complejos, en los que intervienen abstracciones y concreciones como las señaladas, todas dentro de una consideración holística. Con esa enorme cantidad de conceptos y elaboraciones, el siguiente paso es saber cómo se constituye la integralidad del sistema, cómo se acopla con el medio, y cómo se realiza la generación de un orden global.

Es claro que estos mecanismos enunciados en la TGS de retroalimentación, de acciones teleológicas, de causalidad circular —en nuestro caso de pérdida de estabilidad—, de transmisión de información —ahora equívoca—, de orden eficiente —ahora transgredido—, de configuraciones de estabilidad —o su pérdida—, se hacen manifiestos en la introducción de los tóxicos que se estudian.

Las expresiones de orden, retroalimentación, reparación, eficiencia que la TGS analiza, se hacen concretas en los eventos celulares normales. Al revisar la introducción de contaminantes en el medio vivo se aprecian estas variaciones: i) El orden, que es una condición operativa de la realidad vital



es transgredido por un xenobiótico; ii) La relación estructura-función es sensible a ser modificada: si el xenobiótico distorsiona la estructura terciaria de una proteína, se altera o se inhibe una acción; iii) Un compuesto extraño puede intervenir sobre la velocidad de una reacción y disminuir la eficiencia. Un ejemplo es la intervención del cadmio sobre las metalotioneínas, el cual pervierte este efecto catalítico en el medio celular; iv) Los mecanismos de reparación de daño al DNA son obstaculizados por la acción del tóxico sobre una enzima que tiene una función de ligar un componente en el proceso reparador. Por tanto, el estudio de los efectos de los tóxicos en los organismos y en el medio propone una urgente integración en el marco multidisciplinario de la TGS.

### **Estructuras disipativas**

El enfoque estocástico de la Sinérgica permite estudiar cambios críticos, ruptura de simetrías y restauración de las mismas a través de fluctuaciones. Construye el orden por medio de las transiciones de fase o cambios de coherencia dentro del orden global del sistema. Éstos son analizados a través de la teoría de sistemas dinámicos, mecánica estadística, ecuaciones diferenciales parciales, teoría del caos, procesos estocásticos y autómatas celulares (Contró, 2010).

Se analiza cómo emerge el orden global de la generación de coherencia sistémica y a su vez cómo presenta la capacidad de ejercer una influencia causal sobre la dinámica subyacente que lo ha hecho emerger. Es un mecanismo de organización a escalas superiores gracias a la interacción de los elementos en coherencia. Prigogine en 1984 ha acuñado el término de estructuras disipativas con las cuales entiende que los cambios abruptos generados en los sistemas organizados por una serie de cambios menores expresan manifestaciones creativas con las que contiene la catástrofe y superada ésta, tiene una nueva forma de mantener el orden.

Prigogine ha explicado que el cambio impone un enorme reto energético y organizacional. El medio responde con zonas de orden en el desorden; su evolución genera nuevas maneras de respuesta superando el mencionado

desorden interno y la autoorganización predomina con nuevos mecanismos con los que aborda esos niveles de cambio.

El enfrentamiento de los sistemas autónomos a la desorganización contaminante es un nuevo reto. Se pueden distinguir varios escenarios: i) que la duración del proceso de reorganización sea menor que el periodo de vida del organismo; ii) que algunos individuos perezcan pero la especie permanezca; iii) que las estructuras disipativas se den solo en organismos con mayor capacidad para asumir el cambio; iv) que el sistema sobreviva con una calidad menguada como otro nivel de contención del riesgo; v) que se generen nuevos filtros aparte de las estructuras placentarias o hematoencefálicas para detener sustancias; o nuevos mecanismos como ruptura, degradación, conjugación, confinamiento, modificación del estado de oxidación de un ión para contender el riesgo; o finalmente que, vi) se sucumba ante esta amenaza.

En la medida que intervengan contribuciones integradas se podrá tener mejor comprensión en esta área, pero es importante reconocer que ese entendimiento no solo no excluye las acciones concretas sino que es más contundente y apremiante en su operación. Por ahora, la implementación consciente e integral del modelo sustentable está cobrando forma en muchas de las actividades humanas y parece que su beneficio no solo comienza a mitigar los efectos desarrollados bajo un modelo intensivo, eficientista y mecanizado, sino que visualiza una forma de incidir en los procesos de productividad con una visión menos extractiva de los recursos no renovables del planeta y con un cuidado inicial y prometedor por una forma racional de hallar caminos en la solución de problemas vigentes.

## CONCLUSIONES

La presencia de las tres sustancias tóxicas seleccionadas en proporciones superiores a las establecidas por los Organismos Internacionales son indicadores reales de la deficiente inocuidad de la leche que se consume en la zona metropolitana del territorio nacional. Por un lado, es necesario

mantener la vigilancia sobre su presencia y por el otro, aumentar la investigación no solo en el campo de la ecotoxicología, sino en los proyectos interdisciplinarios que actualmente están siendo sostenidos por núcleos de investigadores que han percibido esta ingente necesidad del abordaje del conocimiento. Paralelo a este esfuerzo, es apremiante un cambio de conciencia; que ella no solamente disienta de estilos hegemónicos en la toma de decisiones globales, sino que sea capaz de generar una nueva forma de hacer la agricultura, de actuar sobre los problemas sanitarios, el progreso, la riqueza y la ciencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albert A., Drouillard K., Haffner G.D. y Dixon B. (2007). "Dietary exposure to low pesticide doses causes long-term immunosuppression in the leopard frog (*Rana pipiens*)". En: *Environmental Toxicology and Chemistry*. 26: 1179-1185.
- Albert L. (1996). "Persistent Pesticides in Mexico". En: *Reviews of Environmental Contamination & Toxicology* 147: 1-44.
- Axmon A., Rylander L., Stromberg U. y Hagmar L. (2004). "Altered menstrual cycles in women with a high dietary intake of persistent organochlorine compounds". En: *Chemosphere* 56: 813-819.
- Ayala M. (2005). Determinación de cadmio y manganeso en muestras mexicanas de leche comercial. Tesis QBF. UAM-X. México.
- Baranowska I., Barchanka H. y Pyrsz A. (2005). "Distribution of pesticides and heavy metals in trophic chain". En: *Chemosphere* 60(1): 1590-1599.
- Bartsch H. y Malaveille C. (1989). "Prevalence of genotoxic chemical among animal and human carcinogens evaluated in the IARC monograph Series". En: *Cell. Biology and Toxicology*. 5(2): 115-127.
- Benachour N., Moslemi S., Sipahutar H. y Seralini GE. (2007). "Cytotoxic effects and aromatase inhibition by xenobiotic endocrine disrupters alone and in combination". En: *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 222: 129-140.
- Bocio A., Nada M. y Domingo J.L. (2005). "Human exposure to metals through the diet in Tarragona, Spain: temporal trend". En: *Biol. Trace Element. Res.* 104(3): 193-201.

- Bornman M.S., Pretorius E., Marx J., Smit E. y van der Merwe C.F. (2007). "Ultrastructural effects of DDT, DDD and DDE on neural cells of the chicken embryo model". En: *Environmental Toxicology*. 22: 328-336.
- Cassidy R.A., Natarajan S. y Vaughan G.M. (2005). "The link between the insecticide heptachlor epoxide, estradiol, and breast cancer". En: *Breast Cancer Research*. 90(1): 55-64.
- Caudle W.M., Richardson J.R., Wang M. y Miller G.W. (2005). "Perinatal heptachlor exposure increases expression of presynaptic dopaminergic markers in mouse striatum". En: *Neurotoxicol*. 26(4): 721-8.
- CICOPLAFEST (2005). "Catálogo Oficial de Plaguicidas". Comisión Intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas. México, D. F. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Secretaría de Desarrollo Social, Secretaría de Salud, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2005.
- Codex Alimentarius: [www.codexalimentarius.net/mrls/pestdes/jsp/pest\\_q-s.jsp](http://www.codexalimentarius.net/mrls/pestdes/jsp/pest_q-s.jsp) consultado 26/02/2010; 12:04.
- Contró P. (2010). "A Neurophenomenological Study of Temporality: A Dialogue Between Heidegger's Phenomenology and Neurodynamics". En: *Phenomenology and the Cognitive Sciences* (currently under review). Springer.
- Dehn P.F., Allen-Mocherie S., Karen J. y Thenappan A. (2004). "Organochlorine insecticides: impact on human HepG2 cytochrome P4501A, 2B activities and glutathione levels". En: *Toxicology in vitro* 19(2): 261-73.
- Earth Negotiations Bulletin. (2005). Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible IIDS No. 113; 3 de mayo de 2005, [noelle@iisd.org](mailto:noelle@iisd.org)
- Eik A.E., Dudarev A.A., Sandanger T.M. y Odland J.O. (2007). "Intra and inter-compartmental associations between levels of organochlorines in maternal plasma, cord plasma and breast milk, and lead and cadmium in whole blood, for indigenous peoples in Chukotka, Russia". En: *Journal of Environmental Monitoring*, 9: 884-893.
- Ennaceur S., Ridha D. y Marcos R. (2008). "Genotoxicity of the organochlorine pesticides 1,1-dichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl)ethylene (DDE) and hexachlorobenzene (HCB) in cultured human lymphocytes". *Chemosphere*. 71: 1335-1339.
- Ghidini S.E., Zanardi A., Battaglia G., Varisco E., Ferretti G., Campanini S. y Chizzolini R. (2005). "Comparison of contaminant and residue levels in organic and conventional milk and meat products from Northern Italy". En: *Food Additives & Contaminants*. 22(1): 9-14.

- Guillette L.J. Jr, Brock J.W., Rooney A.A. y Woodward A.R. (1999). "Serum concentration of various environmental contaminants and their relationship to sex studied concentrations and phallus size in juvenile American alligators". En: *Arch. Environ. Contam. and Toxicol.* 36(4): 447-455.
- Gundacker C., Pietschnig B., Wikttmann K., Salzer H., Stöger H., Reimann-Dorninger G., Schuster E. y Lischka A. (2007). "Smoking, cereal consumption, and supplementation affect cadmium content in breast milk". En: *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology.* 17(1): 39-46.
- Hansen M.E. y Matsumura F. (2001). "Effects of heptachlor epoxide on components of various signal transduction pathways important in tumor promotion in mouse hepatoma cells. Determination of the most sensitive tumor promoter related effect induced by heptachlor epoxide". En: *Toxicology.* 160(1-3): 139-53.
- He F. (2000). "Neurotoxic effects of Insecticides –Current and Future Research: A Review". En: *Neurotoxicology.* 21(5):829-836.
- International Agency for Research on Cancer (IARC):  
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol58/mono58-7.pdf> Consultada 03/03/11.
- Kavlock R.J., Daston P.G., Derosa C., Fenner-Crips P., Gray L., Kaatari S. *et al.* (1996). "Research needs for the risk assessment of health and environmental effects of endocrine disruptors. A report of the U.S. EPA-sponsored workshop". En: *Environmental Health Perspectives.* 104: 715-740.
- Kocí V., Ocelka T., Dragoun D., Vit M., Grabic R. y Sváb M. (2007). "Concentration of organochlorine pollutants in surface waters of the Central European biosphere reserve Krivoklatsko". En: *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* (2): 94-101.
- Laouedj A., Schenk C., Pfohl-Leszkowicz A., Keith G., Schontz P.G. y Rether B. (1995). "Detection of DNA adducts in declining hop plants grown on fields formerly treated with heptachlor, a persistent insecticide". En: *Environ. Pollution* 90(3): 409-414.
- Laug B.P., Kunze F.M. y Prickett C.S. (1951). "Occurrence of DDT in human fat and milk". En: *Arch. Indust. Hyg. Occup. Med.* 3: 245-246.
- Laville N., Balaguer P., Brion F., Hinfray N., Casellas C., Porcher J.M. y Ait-Aïssa S. (2006). "Modulation of aromatase activity and mRNA by various selected pesticides in the human choriocarcinoma JEG-3 cell line". En: *Toxicology.* 228: 98-108.
- Lawson G. y Luderer U. (2004). "Gestational and lactational exposure to heptachlor do not alter reproductive system development in rats". En: *Veterinary and Human Toxicology* 46(3): 113-8.

- Leotsinidis M., Alexopoulos A. y Kostopoulou-Farri E. (2005). "Toxic and essential trace elements in human milk from Greek lactating women: association with dietary habits and other factors". En: *Chemosphere* 61(2): 238-247.
- Malmauret L., Parent-Massin D., Hardy J. y Verger P. (2002). "Contaminants in organic and conventional foodstuffs in France". En: *Food Addit. Contam.* 19(6): 524-532.
- Miller G.W., Kirby M.L., Levey A.I. y Bloomquist JR. (1999) "Heptachlor alters expression and function of dopamine transporters". En: *Neurotoxicol* 20(4): 631-7.
- Milnerowicz H. y Chmarek M. (2005). "Influence of smoking on metallothioneins level and other proteins binding essential metals in human milk". En: *Acta Paediatr.* 94(4): 402-406.
- Mourón S., Goligow C. y Dulout F. (2001). "DNA damage by cadmium and arsenic salts assessed by the single cell gel electrophoresis assay". En: *Mutation Res.* 498: 47-55.
- Muenworn V., Akaratanakul P., Bangs M.J., Parbaripai A. y Chareonviriyaphap T. (2006). "Insecticide-induced behavioral responses in two populations of *Anopheles maculates* and *Anopheles sawadwongporni*, malaria vectors in Thailand". En: *J. Am. Mosq Control. Assoc.* 22: 689-698.
- Nagayama J., Kohno H., Kunisue T., Kataoka K., Shimoura H., Tanabe S. y Konishi S. (2007). "Concentrations of organochlorine pollutants in mothers who gave birth to neonates with congenital hypothyroidism". En: *Chemosphere* 68: 972-976.
- Nomata K., Kang K.S., Hayashi T., Matesic D., Lockwood L., Chang C.C. y Trosko J.E. (1996). "Inhibition of gap junctional intercellular communication in heptachlor- and heptachlor epoxide-treated normal human breast epithelial cells". En: *Cell. Biol. Toxicol.* 12(2): 69-78.
- Norén K. y Meironité D. (2000). "Certain organochlorine and organobromine contaminants Swedish human milk in perspectives of past 20-30 years". En: *Chemosphere* 40: 1111-1123.
- Ohrvik H., Yoshiokam., Oskarsson A. y Tallkvist J. (2006). "Cadmium-induced disturbances in lactating mammary glands of mice". En: *Toxicol. Lett.* 164(3): 207-213.
- Okoumassoun L.E., Bates D.A., Marion M. y Denizeau F. (2003). "Possible mechanisms underlying the mitogenic action of heptachlor in rat hepatocytes". En: *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 193: 356-369.
- Pérez M.N., Díaz F.B., De la Fuente H., González A.R., Calderón J. y Yáñez L. (2004). "DDT induces apoptosis in human mononuclear cells *in vitro* and is associated with increased apoptosis in exposed children". En: *Environ. Res.* 94: 38-46.

- Pillet S., Rooney A., Bouquegneau J., Cyr D. y Fournier M. (2005). "Sex specific effects of neonatal exposures to low levels of cadmium through maternal milk on development and immune functions of juvenile and adult rats". En: *Toxicol.* 209(3): 289-301.
- Prado G., Díaz G., Noa M., Méndez I., Cisneros I. y Castañeda F. (2004). "Niveles de plaguicidas organoclorados en leche humana de mujeres de la Ciudad de México". En: *Agrosur* 32 (2): 60-69.
- Prado F.G., Díaz G.G., Gutiérrez R.T., Vega L.S., Noa P.M. y Chávez H.E. (2007). "Residuos de plaguicidas organoclorados en leche de cabra de una población en Querétaro, Querétaro, México". En: *Veterinaria México* 38: 291-301.
- Prado G. (2009a). "Presencia de cromo, cadmio, mercurio y plomo en leche". En: *Producción sustentable. Calidad y leche orgánica*. L. A. García Hernández y L. Brunett Pérez (eds) UAM y Centro Universitario AUEM. ISBN: 978-607-477-198-5 pág 107-171.
- Prado G., Bhalli J.A, y Marcos R. (2009b). "Genotoxicity of heptachlor and heptachlor epoxide in human TK6 lymphoblastoid cells". En: *Mut. Res.* 673(2): 87-91.
- Prado G. y de León F. (2009c). "Dichloro-Diphenyl-Trichlorethane (DDT), a study model on environmental contamination by pesticides". En prensa.
- Real M., Noa M., Patricio S., Castañeda J.J., Ramírez A., Pérez E., Nuño R. y Zavala J.L. (2008). *Comparación de los niveles de plaguicidas organoclorados detectados en leche pasteurizada comercializada en la zona metropolitana de Guadalajara*. ISBN 970-95238-1-3. pp. 181-184. Jalisco, México.
- Rodríguez F., Sánchez A., Rodríguez S., Vidales C., Karim A., Martínez T. y Rodríguez O. (2005). "Metales pesados en leche cruda de bovino". En: *Revista Salud Pública y Nutrición Edición Especial* 6(4)-2005, en [www.alfa-editores.com/web/index.php?option](http://www.alfa-editores.com/web/index.php?option) Consultado 12.05.08.
- Rough S.E., Yau P.M., Chuang L.F., Doi R.H. y Chuang R.Y. (1999). "Effect of the chlorinated hydrocarbons heptachlor, chlordane and toxaphene on retinoblastoma tumor suppressor in human lymphocytes". En: *Toxicol. Lett.* 11:104(1-2): 127-35.
- Schaum J., Schuda L., Wu C., Sears R., Ferrario J. y Andrews K. (2003). "A national survey of persistent, bioaccumulative, and toxic (PBT) pollutants in the United States milk supply". En: *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* (3): 177-186.
- Schoeters G., Den Hond E., Zuurbier M., Naginiene R., van den Hazel P., Stilianakis N., Ronchetti R. y Koppe J. (2006). "Cadmium and Children: exposure and health effects". En: *Acta Paediatrica. Suppl.* 95(453). 50-54.

- Smialowicz R.J., Williams W.C., Copeland C.B., Harris M.W., Overstreet D., Davis B.J. y Chapin RE. (2001). "The effects of perinatal/juvenile heptachlor exposure on adult immune and reproductive system function in rats". En: *Toxicol. Sci.* 61(1): 164-75.
- Smith D. (1999). "Trends in DDT levels in human breast milk". En: *Int. J. Epidemiol.* 28: 179-188.
- Souza V., Escobar M., Gómez Q.L., Bucio L., Hernández E., Chávez E. y Gutiérrez R.M. (2004). "Acute cadmium exposure enhances AP-1, DNA binding and induces cytokines expression and heat shock protein 70 in HepG2 cells". En: *Toxicol.* 197: 213-228.
- Stawarz R., Formicki G. y Massányi P. (2007). "Daily fluctuations and distribution of xenobiotics, nutritional and biogenic elements in human milk in Southern Poland". En: *J Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subs. Environ. Eng.* 42(8): 1169-1175.
- Topari J., Larsen J.C., Christiansen P., Giwercman A., Grandjean P., Guillette J.I., et al. (1996). "Male reproductive health and environmental xenoestrogens". En: *Environ. Health Perspect.* 104(4): 741-803.
- Ursinyova M. y Masanova V. (2005). "Cadmium, lead and mercury in human milk from Slovakia". En: *Food Addit. Contam.* 22(6): 579-589.
- Valverde M., Fortoul I., Díaz-Barriga F. y Rojas C.E. (2000). "Induction of genotoxicity by cadmium chloride inhalation in several organs of CD-1 mice". En: *Mutagenesis* 15(2): 109-114.
- Waliszewski S.M., Villalobos P.R., Gómez A.S. y Infanzón R.M. (2003). "Persistent organochlorine pesticides in mexican butter". En: *Food Addit. Contam.* 20(4): 361-367.
- Waliszewski S.M., Infanzón R.M., Arroyo S.G., Pietrini R.V., Carvajal O., Trujillo P., Hayward J.P.M. (2005). "Persistent organochlorine pesticides levels in blood serum lipids in women bearing babies with undescendent testis". En: *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 75(5):952-959.
- Wosniak A.L., Bulaveva N.N. y Watson C.S. (2005). "Xenoestrogens at picomolar to nanomolar concentrations trigger membrane estrogen receptor-alpha-mediated  $Ca^{2+}$  fluxes and prolactin release in GH3/B6 pituitary tumor cells". En: *Environ. Health Perspect.* 113(4):431-439.



## FRAUDES EN LECHE Y DERIVADOS EN MÉXICO

*S. Vega y León<sup>\*1</sup> §, R. Gutiérrez Tolentino<sup>\*1</sup>,  
G. Urbán Carrillo\*, A. Ramírez Ayala\*,  
A. Escobar Medina<sup>2</sup>, M. Coronado Herrera\**

**RESUMEN** El fraude o adulteración de la leche y sus derivados en México es un tema actual que se ha venido estudiando desde hace 40 años por investigadores y que afecta de manera directa e indirecta a los consumidores, productores e industriales en toda la cadena producción-consumo de leche y sus derivados. Una práctica común por parte de los industriales de la leche es sustituir parte o la totalidad de las fracciones grasa y proteica de la leche auténtica por otras ajenas más baratas, teniendo ganancias adicionales cuando la sustitución no se informa en la etiqueta del producto. En el presente trabajo se abordan situaciones diversas sobre la adulteración de la leche y sus derivados, como las adiciones de grasa no láctea, suero de quesería y melamina.

**Palabras clave:** leche, adulteración

**SUMMARY** Adulteration of milk and dairy products in Mexico is a current issue that has been studied over the last forty years by different researchers. This is a problem, which affects the entire production chain including dairy farmers, dairy industry and consumers. A common practice used by the dairy processing companies is the partial or complete replacement of milk's fat and protein by substances like vegetable fat and urea, which are cheaper than the natural nutrients of milk. Adulteration of milk occurs when manufacturers add non-milk substances to dairy products and do

\* Personal académico del Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Ciudad de México.

1 Miembro del Cuerpo Académico: Producción, calidad e inocuidad de la leche y derivados

§ Email: svega@correo.xoc.uam.mx

2 Investigador del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria de La Habana, Cuba.

not inform consumers in the product's label. The objective of the present work is to describe the adulteration processes of milk and dairy products with substances like non-milk fat, cheese whey and melamine.

**Key words:** milk, adulteration of milk

## ANTECEDENTES

La adulteración de los alimentos no es una actividad exclusiva de nuestros tiempos. Los textos clásicos sobre Higiene de los Alimentos refieren permanentemente ese problema; por ello en el Imperio Romano se realizaba la inspección de alimentos frescos como leche y carne para controlar la transmisión de enfermedades, pero además porque frecuentemente se adulteraban pan, vino, leche, cerveza y pescados (Amaro López, 1990).

En la Europa del siglo XVIII (Sanz, 1988, citado por Amaro y López, 1990) las adulteraciones de alimentos se practicaban continuamente, por ejemplo, para mitigar sabores y olores repugnantes en las carnes de animales muertos por enfermedades y en otros alimentos descompuestos se usaron especias (canela, laurel, orégano y otros), además de yerbas aromáticas. Paralelamente, los avances en conocimientos de la química favorecieron la adulteración fraudulenta de los alimentos, da cuenta que en 1820, Fredrick Accum, con base en su trabajo de laboratorio y actividades profesionales, escribió el libro denominado: *Treatise on adulterations of food and culinary poisons* (Tratado de las adulteraciones en los alimentos y venenos culinarios). En ese texto reseñaba la técnica para determinar alumbre en pan por precipitación con cloruro de bario o la de plomo en quesos por la precipitación de sulfuro de hidrógeno.

En la actualidad, se observa que algunos industriales de los alimentos buscan disminuir sus costos de producción, incluyendo materias primas de bajo costo con las cuales se adulteran los alimentos. Un ejemplo reciente se observó en 2006, en la región de Cataluña, España, en donde 76,000 litros

de aceite de girasol (que es más barato) se comercializaron como si fueran aceite de oliva (*El Mundo*, 2006).

Las formas de adulteración de los alimentos han cambiado en los últimos años, ya casi no se usan adulterantes para enmascarar la descomposición de los alimentos. Sin embargo, los fraudes en materias primas como en productos alimenticios terminados han aumentado considerablemente no solo en los países pobres sino también en los desarrollados. Quien adultera alimentos sabe que la detección de adulterantes es un problema con dificultad para resolverlo, ya que los adulterantes tienen aproximadamente la misma composición química que el alimento adulterado (Dennis, 1998).

#### PRINCIPALES ADULTERANTES EN LECHE Y DERIVADOS

Los principales adulterantes que en los últimos años se conocen son incorporados a la leche y constituyen fraudes para el consumidor, se dividen en dos grupos: los que se adicionan directamente a la leche cruda (o bronca como se conoce en México) como pueden ser agua, sales neutralizantes, sacarosa, glucosa, urea y recientemente melamina. Además de otros que sustituyen a los constituyentes propios de la leche (proteínas y grasa), como pueden ser suero de quesería, harinas de algunas leguminosas (soya, chícharo y otros) y grasas de origen vegetal (palma, soya y otros) y animal (sebo, manteca de cerdo) (Rodríguez y Juárez, 1995; Vega y León, 2000; Díaz González, *et al.*, 2002; Vega y León, *et al.*, 2006).

La leche se considera genuina y no adulterada cuando desde la producción hasta el consumo no se alteran de forma voluntaria sus constituyentes naturales ni se hacen manipulaciones destinadas a ocultar algún defecto de calidad (Vega y León *et al.*, 1999a; Gutiérrez, 2003). En este contexto, el propósito de este trabajo es informar sobre los fraudes que mediante la adulteración se realiza en leche y derivados, así como algunos efectos en los consumidores.

### **Desarrollo de nuevos productos lácteos**

En los últimos años la industria alimentaria y particularmente la de derivados lácteos ha crecido a través diversificar productos que se ofrecen al consumidor. Debido a la competencia entre las empresas por ganar mercados y mantener y aumentar sus ganancias, a partir de 1990, en México se ha observado el desarrollo de nuevos productos lácteos. Como en otras industrias alimenticias, mediante tres grandes procedimientos favorece el desarrollo de nuevos productos. Uno consiste en la sustitución parcial o total de materias primas, que por sus propiedades y aptitud tecnológica hacen posible un producto con atributos nuevos o similares. Otro se da cuando se modifica la tecnología empleada en la fabricación del producto, y por último, la combinación de esas dos opciones correspondería al tercero.

Considerando avances científicos en los campos de la tecnología de alimentos, nutrición y la salud humana, la leche y productos derivados se pueden clasificar en tres grandes clases: aquellos productos a los que se les han añadido alguna(s) sustancia(s) no propias y que se encuentran en cantidades mayores o menores (leche adicionada con vitaminas y minerales, con fibras dietarias, y otras); a los que se les ha sustraído una o más fracciones lácteas (grasa o proteínas) completa o parcialmente y sustituida (leche deslactosada, descremada y otras), o no, por otra(s) (leche con grasa vegetal); y los derivados que son combinación de las dos clases anteriores.

Tal es la variedad de productos lácteos en la actualidad que, además de que frecuentemente el consumidor se confunde al momento de elegir, en los derivados lácteos se ha modificado su composición original, por lo que es en ocasiones inapropiada su denominación. En ocasiones al desarrollarse nuevos productos lácteos y en general argumentándose beneficios económicos, algunas empresas incurren en prácticas comerciales desleales para otros industriales del mismo ramo, al enviar al mercado productos lácteos con denominaciones que no corresponden con los ingrediente usados para su fabricación. Con ello se propicia el uso de adulterantes, con fraudes para los consumidores, que al estar imposibilitados para detectar adulterantes mediante los órganos de los sentidos se ven engañados. Por

ello, ante la andanada de nuevos productos alimenticios, se hace imperioso el establecimiento de ordenamientos legales y normas que garanticen la calidad e inocuidad de los alimentos.

### **Adulterantes en la leche cruda**

Durante el proceso de producción-consumo, en el establo se obtiene, luego del ordeño la leche cruda, que en ocasiones puede contener algunas impurezas (pelos de bovinos, insectos, restos de alimentos, del suelo, estiércol y otros), estas materias extrañas a la leche, con buenas prácticas de higiene y de producción, pueden eliminarse, generalmente con métodos de separación; o también impedirse su presencia con la implementación de buenas prácticas de producción. Sin embargo, además de ese problema es posible la presencia de otras sustancias que intencionalmente pueden agregarse a la leche cruda para disimular características indeseables para su venta. Por ello se adicionan sustancias neutralizantes para contrarrestar la acidez desarrollada de la leche, agua oxigenada y otras sustancias para tratar de evitar el crecimiento microbiano, agua, muchas veces sin calidad sanitaria, para aumentar el volumen de la leche, que entrega el productor a la industria láctea. Recientemente (2009), investigaciones del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara en México informaron que en la leche se pudieron detectar desde agua hasta orina de vaca (Sagarpa, 2009).

El adicionado de agua es penalizado por la industria láctea y mediante la técnica de crioscopía (muy difundida en la actualidad) puede ser evidenciada su presencia en la leche, por lo que el productor se cuida de cometer este fraude al industrial. Sin embargo, en la actualidad otros tipos de adulterantes acaparan el interés internacional, tal es el caso de la adulteración con melamina que en 2008 fue reportada por primera vez en China.

### **Melamina**

#### *Propiedades fisicoquímicas y síntesis de la melamina*

La melamina es una sustancia con diversos usos industriales, prohibida como aditivo en alimentos. En la industria se ha utilizado en la fabricación

de plásticos, pinturas, adhesivos y como retardador del fuego, su incorporación en fertilizantes como fuente de nitrógeno también ha sido informada, aunque se sabe que en países desarrollados como los de la Unión Europea y Norteamérica no se utiliza.

Fue sintetizada por primera vez por Justus von Liebig en 1834. Es una base orgánica que presenta una fórmula química  $C_3H_6N_6$  y se conoce con el nombre 1, 3,5-triazina-2, 4,6-triamina. Es un polvo blanco cristalino y es soluble ligeramente en agua.

Inicialmente la producción de melamina ocurre cuando la cianamida de calcio es convertida en una dicianidiamida si ésta es calentada por encima del punto de fusión, sin embargo, en la actualidad se emplea la urea para la producción de melamina. Este último proceso ocurre en dos pasos, una primera reacción endotérmica donde la urea se descompone para formar el ácido ciánico (HCNO) más amoníaco. En la segunda etapa ocurre la polimerización del ácido ciánico para formar la melamina y la liberación de dióxido de carbono, este proceso es exotérmico. La reacción se muestra en la ecuación 1.



Durante la síntesis química pueden ocurrir diferentes productos intermedios como son ácido ciánico, ammelina y ammelida; estos metabolitos también puede aparecer por la degradación microbiológica de la melamina (Ehling y Tefera, 2007).

### **Adición de melamina en leche cruda y presencia en derivados lácteos industrializados**

La melamina es un producto económico, rico en nitrógeno, adicionada a la leche aumenta el contenido de ese elemento químico. En la industria láctea, el pago de la leche cruda generalmente se hace considerando diversos parámetros físicos (ausencia de materia extraña, agua, otros); químicos

(contenido de grasa, proteína y ausencia de residuos y contaminantes diversos) y biológicos (cuenta de células somáticas y de microorganismos). Al mezclar una solución acuosa con melamina en la leche se consigue disfrazar su contenido en proteínas, haciéndolo parecer más alto, ya que el método utilizado para determinar proteína en leche (Kjeldahj) valora el contenido total de nitrógeno, que luego se multiplica por un factor para obtener proteína total, pero no discrimina entre nitrógeno de las proteínas y el no proteico, que originalmente puede provenir de vitaminas, bases nitrogenadas y otros compuestos como el adulterante melamina.

En 2008, en China se informó de la adulteración de la leche de vaca cruda o “bronca”. El fraude se produjo en el acopio de la leche, después del ordeño, previo a la fase de distribución a las empresas lecheras. La leche cruda se adulteró agregando agua mezclada con melamina. La adición ilegal de agua y melamina se conocía en el norte de China (Mongolia interior) desde abril de 2005; el gobierno se percató en ese tiempo del problema, pero lo atendió meses después de los Juegos Olímpicos de agosto de 2008.

También se determinó que en otros productos lácteos industrializados (leche fluida, yogur y helado) de las marcas lácteas principales de China (*Bright*, *Mengnui* y *Yili*) contenían melamina. Se informó además de la presencia de ese compuesto en café con leche envasado (en recipientes de vidrio y lata) y otros productos alimenticios que usan leche como materia prima como caramelos y postres (pasteles).

Otros países afectados por recibir importaciones de productos lácteos adulterados con melamina provenientes del mercado chino fueron: Bangladesh, Brunei, Burundi, Corea del Sur, Filipinas, Gabón, Hong Kong, Japón, Malasia, Myanmar, Singapur, Taiwán y Vietnam, los cuales retiraron sus productos de las estanterías de los supermercados, prohibieron las importaciones de lácteos fabricados en China o comenzaron a realizar controles de calidad (*El universo*, 2008).

Sin embargo, la adulteración con melamina no solo es un problema para la industria láctea, sino que se extendió a otras materias primas

(proteína de arroz, y germen de trigo y maíz) empleados en la elaboración de alimentos para animales como gatos y perros, además de peces (comestibles y de ornato); también se ha descubierto la presencia de melamina en alimentos concentrados destinados al consumo de aves, cerdo y pez gato (Andersen y Turninseed, 2008). Es posible que dicho adulterante se encuentre también en harinas de cereales, concentrados proteicos y harina de pescado.

Para septiembre de 2008 en China se conocía que al menos cuatro bebés habían muerto y 53,000 se habían intoxicado por el consumo de fórmulas lácteas (mal llamadas en México leches maternizadas), elaboradas con leche adulterada con melamina. En lactantes, el consumo de leche adulterada con el compuesto puede provocar cálculos renales que propician fallo renal agudo y con base en la gravedad pueden ocasionar la muerte. 6,244 bebés chinos presentaron cálculos renales durante el año de 2008 (Baynes y Smith, 2008).

Otros padecimientos observados en animales de laboratorio son cálculos en la vejiga, fibrosis renal y alteraciones en procesos reproductivos. Se conocen también efectos carcinogénicos en riñón y vejiga en animales experimentales. Sin embargo, hasta el momento no hay evidencia de este tipo efecto en la especie humana (USFDA, 2007).

### **Presencia de melamina como contaminante en el medio**

La melamina está prohibida para usarse en alimentos (para humanos y para animales), sin embargo, como muchas otras sustancias xenotobióticas, no puede descartarse su presencia en el medio; además algunos envases plásticos también la contienen. Es posible su presencia en cantidades menores en pinturas aplicadas en el interior de latas donde se envasan productos para limpieza de equipos usados en la producción industrial de alimentos.

Con base en los datos de la Administración Estatal de Control, Inspección y Cuarentena del gobierno Chino (AQSIC, por sus siglas en inglés), se detectó que de 1,200 partidas de leche analizadas 2% (24) se encontraba



contaminada con melamina con nivel promedio de 8.6 mg/kg de leche (8.6 ppm); mientras que en leche en polvo el promedio encontrado fue de 6.196 ppm (USFDA, 2008).

Tanto en China como en la Unión Europea se han establecido normas que estipulan que en las fórmulas lácteas para infantes pequeños solo se tolera 1 mg de melamina por kilogramo de producto; mientras que para otros derivados lácteos o para cualquier producto que contenga como ingrediente leche fluida en más del 15%, deberá de ser de 2,5 mg/kg para poder considerarse como inocuos (UE, 2008).

En octubre de 2008, la FDA (Food and Drugs Administration por sus siglas en inglés) de los EU disponía que las fórmulas lácteas para bebés no deberían contener melamina (tolerancia cero), sin embargo, días después detectó dichas sustancias en dos marcas de fórmulas lácteas comercializadas en ese país (*Enfamil lipil* y *Good Start*); por ello en noviembre de 2008, la FDA cambió su actitud y estableció un contenido límite de melamina y de su variante ácido de melamina de 1 ppm en leche en polvo (USFDA, 2008).

Para la FDA es importante que dicho límite de tolerancia se incluya la suma de melamina y de ácido de melamina, ya que cuando se incluyó en la dieta de ratones únicamente melamina en grandes cantidades, no se observaron efectos renales adversos; sin embargo, en mezclas de las dos sustancias es posible la presencia de efectos negativos en la salud de los roedores (USFDA, 2008).

En México la preocupación de que la leche y derivados presenten adulteración con melamina y sus derivados está latente; en octubre de 2008 un senador de la LXI Legislatura elaboró una propuesta para un punto de acuerdo en el que se exhorta al presidente de la República a informar sobre las “acciones que se llevan a cabo para proteger a la población del consumo de leche china adulterada con melamina, sus derivados y productos que en su preparación contengan el lácteo” (Senado de la República, 2008).

Como se ha documentado, los adulterantes adicionados ilegalmente a la leche cruda pueden mantenerse en los productos industrializados, como es el caso de la melamina y otras sustancias, ya que los tratamientos

industriales de la leche como clarificación, pasteurización, ultrapasteurización, secado y envasado, no los eliminan.

## **Adulteraciones en productos lácteos industrializados**

### **Adulteración de la fracción grasa**

En la década de los noventa del siglo pasado comenzó a informarse mediante algunos medios de comunicación, instancias gubernamentales y artículos de investigación y divulgación, que la fracción grasa de algunas marcas de leche fluida se encontraba adulterada y se incumplía la legislación sanitaria vigente en esos tiempos.

En 1993, la Dirección General de Control Sanitario de Bienes y Servicios (DGCSBS), de la entonces Secretaría de Salubridad y Asistencia, aseguraba que “la leche es un producto sujeto a posibles adulteraciones por el atractivo de adicionar materias primas de menor costo o de mayor disponibilidad”. La DGCSBS desarrolló en 1992 un estudio en el que se obtuvieron 705 muestras de leches pasteurizadas, de varias clases y además “leche” reconstituida con grasa vegetal.

Los resultados de los análisis se compararon con las disposiciones de la Ley General de Salud para leche pasteurizada y con la norma oficial mexicana NOM-F-507-1988. Se encontró que solo 4% de las muestras cumplían totalmente las especificaciones; 54% de las muestras estaban adulteradas o contaminadas y 34% estaban adulteradas (Meljem, 1993).

Por el mismo tiempo, el Instituto Nacional del Consumidor, a petición de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, llevó al cabo una investigación sobre la calidad de leche pasteurizada y ultrapasteurizada de venta en 25 ciudades del país. Se analizaron 140 marcas con un total de 469 muestras, 20% de las muestras analizadas mostraron deficiencias en el contenido de grasa.

Posteriormente, ya en el siglo XXI, en el marco de las reuniones entre representantes de la industria, dependencias oficiales, universidades y otras, se desarrolló una discusión que finalmente desembocó en el anteproyecto de la norma NOM 155-SCFI-2002, ya que en el mercado de los productos lácteos

se ofrecía al consumidor productos denominados como leche, cuando no correspondían con su definición legal, que de acuerdo con el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios, en su artículo 240, informaba que “la leche para consumo humano debe ser la secreción natural de las glándulas mamarias de vacas sanas y bien alimentadas. Se excluye el producto obtenido quince días antes del parto y cinco días posteriores al mismo o cuando contenga calostro”.

Por otro lado, la Federación Internacional de Lechería precisa la definición diciendo que la leche es el producto de la secreción normal de la mama, obtenido por uno o varios ordeños, sin ninguna adición o sustracción (FIL/IDF, 1983).

Los problemas sobre la denominación para la leche trascendieron hasta el Congreso de la Unión y por ello el 21 de mayo de 2003 se emitió un punto de acuerdo para que las Secretarías de Economía, Salud, Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, a través de la Dirección General de Normas, y en apego a la legislación vigente, definieran y aplicaran correctamente el término “adulteración” en el contexto de la norma NOM 155-SCFI-2002 sobre leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado.

Finalmente, el 12 de septiembre de 2003 apareció en el *Diario Oficial de la Federación* la NOM 155-SCFI-2003, LECHE, FÓRMULA LÁCTEA Y PRODUCTO LÁCTEO COMBINADO, DENOMINACIÓN, ESPECIFICACIONES FÍSICOQUÍMICAS, INFORMACIÓN COMERCIAL Y MÉTODOS DE PRUEBA, en la que se aclara de acuerdo con su composición y para el caso que ocupa, el tipo de grasa la denominación correspondiente para cada producto.

Así mismo, se define la adulteración como: cuando la naturaleza o composición de la leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado no corresponda a aquellas con las que se denomine, etiqüete, anuncie, suministre o cuando no corresponda a las especificaciones establecidas en dicha norma oficial.

Dicha Norma Oficial permite la inclusión de grasa vegetal en leche industrializada como pasteurizada, ultrapasteurizada, reconstituida y otras,

siempre y cuando en la etiqueta se especifique que se trata de grasa vegetal. Por otro lado, en la fórmula láctea como en el producto lácteo combinado se permite el uso de grasa de origen vegetal.

Si bien dicha norma representa un avance en la denominación de los derivados lácteos antes citados, fue hasta 2004 que el Subcomité de Métodos de Prueba del Consejo para el Fomento de la Calidad de leche y Derivados A. C. (COFOCALEC), propuso un método para discriminar la grasa butírica de la grasa vegetal a través de norma, la NMX-F-707-COFOCALEC-2004. ALIMENTOS –LÁCTEOS– DETERMINACIÓN DE FITOSTEROLES EN LECHE, FÓRMULA LÁCTEA, PRODUCTO LÁCTEO COMBINADO, QUESO, CREMA Y MANTEQUILLA POR CROMATOGRAFÍA DE GASES – MÉTODO DE PRUEBA, que establece que es posible demostrar la adulteración con grasa vegetal en la leche y derivados, mediante la determinación de sustancias presentes en la grasa vegetal como los fitoesteroles, que en la grasa láctea no adulterada solo se encuentran como trazas.

### **Detección de grasa no láctea en leche y derivados**

Los estudios relacionados con la detección y cuantificación de grasas extrañas en leche de vaca y productos derivados se han informado desde hace 40 años, constituyendo áreas prioritarias en muchos centros de investigación, dado el alto significado económico en el comercio nacional e internacional (Parodi, 1971; Pinto *et al.*, 2002; Fontecha *et al.*, 2006).

La detección de grasas no lácteas en la leche es un problema complejo ya que la grasa láctea contiene una gran cantidad de componentes que también se encuentran en los aceites y grasas vegetales y animales. Por muchos años se intentó utilizar la medición de algunos parámetros físico y químicos (densidad, índices de refracción, saponificación, yodo, Reichert-Meissl y Polenske) para la detección de adulterantes en leche procesada, sin embargo, los avances tecnológicos en el desarrollo de las margarinas, que tienden a imitar la grasa láctea pura han hecho cada vez más difícil resolver ese problema (Vega *et al.*, 2002; 2004b).

A partir de 1993 en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (UAM-X), se desarrolló una línea de investigación para determinar la autenticidad de productos lácteos de venta al consumidor. Desde hace 17 años en la UAM-X se formó un grupo de investigación sobre la analítica de la leche y sus derivados. Uno de los aspectos que cubrió el grupo fue la identificación y cuantificación de las adulteraciones de la leche. Desde su inicio emprendió una primera tarea, que fue familiarizarse con los métodos de toma de muestras y de prueba para determinar las características físicas y químicas de la leche.

Siguiendo las experiencias de diversos investigadores como Precht (1991a, 1991b), en Alemania, se llegó a establecer que mediante el estudio de la composición y contenidos de ácidos grasos (AG) y triacilglicerolos o triglicéridos (TAG) de la grasa láctea, usando cromatografía gas-líquido con detector de ionización de flama (GCL-FID), es posible establecer una primera presunción o aproximación sobre la adulteración de la grasa de la leche (Vega, 2000).

En 1998, Pérez *et al.* publicaron el primer perfil de AG en grasa de leche cruda e industrializada (en polvo y pasteurizada) en México, confirmando el perfil informado por otros investigadores (Precht, 1992a, 1992b; Palmquist *et al.*, 1993; Wolff *et al.*, 1995; Jensen, 2002). Se observó claramente la presencia de 11 AG típicos de la leche, a saber, de cadena corta: butírico ( $C_4$ ), caproico ( $C_6$ ), caprílico ( $C_8$ ); de cadena media: cáprico ( $C_{10}$ ), laurico ( $C_{12}$ ), mirístico ( $C_{14}$ ) y cadena larga: palmítico ( $C_{16}$ ), esteárico ( $C_{18}$ ), oleico ( $C_{18:1}$ ), linoleico ( $C_{18:2}$ ) y linolénico ( $C_{18:3}$ ); mayoritariamente y representando hasta 60% de todos los AG los ácidos palmítico y oleico. (Ver Tabla 1).

Para detectar adulteraciones de la grasa láctea se ha intentado comparar el perfil de AG de grasa auténtica con grasa láctea sospechosa de estar adulterada, sin embargo, con ello no es factible establecer claramente diferencias. Por otro lado, con los resultados obtenidos se calcularon algunos cocientes de los AG (por ejemplo  $C_4/C_{18:3}$ ) y debido a la variabilidad de los resultados no fue posible establecer diferencias entre grasa láctea auténtica y grasa de leche en polvo y pasteurizada (Pérez *et al.*, 1998). Aunque previamente, Parodi (1971) ya había publicado que al analizar 112 muestras

**Tabla 1.** Intervalos de variación de los AG (% p/p) presentes en la grasa láctea en México y otros países

País	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>16:1</sub>	C <sub>18</sub>	C <sub>18:1</sub>	C <sub>18:2</sub>
México	2.5-5.5	1.9-3.8	0.8-2.0	1.3-4.0	2.3-4.7	7.4-13.5	20.9-31.0	0.9-3.1	6.3-15.2	14.1-31.0	1.6-4.1
Bélgica	3.4-4.1	1.8-2.4	0.9-1.5	1.9-3.8	2.3-4.7	8.5-13.4	18.6-31.2	1.9-3.6	7.8-14.3	23.0-34.5	1.8-3.2
Australia	3.9-4.4	1.5-2.5	0.7-1.5	1.2-3.2	1.4-3.5	5.4-10.3	21.5-24.6	2.1-3.2	11.0-19.9	25.2-35.0	2.1-3.3
Nueva Zelanda	2.7-6.2	1.5-2.7	0.7-1.5	1.6-3.6	2.0-4.2	8.8-12.8	22.3-29.0	0.8-1.4	13.0-16.9	20.9-30.1	0.8-1.6
Italia	2.4-7.2	1.4-3.4	1.1-2.0	2.2-3.8	2.4-5.0	9.3-12.5	21.8-31.6	2.4-7.2	7.0-12.5	13.0-29.4	1.2-3.3
España	2.4-6.2	1.5-3.8	1.0-1.9	2.1-4.0	2.3-4.7	8.5-12.8	24.0-33.3	1.3-2.8	6.2-13.6	19.7-31.2	1.3-5.2

Fuente: Pérez *et al.*, 1998

de mantequillas australianas encontró que 59.8% de las muestras no fueron detectadas a un nivel de adulteración de 10% y 35.7% a un nivel de 15% (Parodi, 1971 y Parodi, 1973). Lo cual posteriormente fue confirmado en España por otros investigadores (Juárez, 1983). Los resultados obtenidos por el grupo mexicano es posible que estén influidos por las condiciones estacionales en el centro de México, el manejo y tipo de alimentación y las razas de bovinos de los cuales provinieron las muestras de leche analizadas (Vega, 2000; Vega, *et al.*, 2004a; De Vries y Risco, 2005).

Para continuar en el análisis de la adulteración de grasa láctea en el año 2000 se informó por primera vez en México de los perfiles en triacilglicéridos (TAG) de grasa de leche cruda (auténtica) y leche industrializada (pasteurizada, ultrapasteurizada y reconstituida). Se analizaron mediante cromatografía de gases con detector de ionización de flama (Timms, 1980), durante un año, 48 muestras de leche cruda y cuatro marcas de cada categoría de leches industrializadas (12 muestras de un litro obtenidas al azar de cada marca, que se consiguieron en supermercados de la Ciudad de México). El total de muestras de leches industrializadas fue de 144. Se obtuvieron resultados en los que se encontraron en las muestras de leche cruda, y en seis industrializadas, 14 señales cromatográficas que correspondieron con los TAG C28 a C54 reportadas por la literatura (Precht, 1992b; Molketin y Precht, 1994; Lipps, 1995); mientras que en dos marcas de leche industrializadas, una pasteurizada, una ultrapasteurizada mostraron variaciones que indujeron sospecha sobre la composición de esas grasas. Por otro lado, en las cuatro marcas de leches reconstituidas, los perfiles de TAG fueron estadísticamente diferentes y similares a los perfiles en TAG de leches de origen vegetal (Vega, 2000). En la Tabla 2 se presentan los contenidos de TAG presentes en la grasa de leche ultrapasteurizada proveniente de tres industrias (Gutiérrez, 2003), de acuerdo con los análisis estadísticos se observó que la industria 2 es diferente en los TAG C28 y C38 a C54.

**Tabla 2.** Niveles de TAG (%/pp) en leche ultrapasteurizada (UHT) de tres industrias lecheras

TAG	UHT1 (n = 12)	UHT2 (n = 12)	UHT3 (n = 12)
	Media*	Media*	Media*
C28	0.52a	0.82b	0.61a
C30	0.66a	0.49a	0.6a
C32	1.63a	1.74a	1.62a
C34	2.84a	2.45a	2.82a
C36	6.2a	4.85a	6.27a
C38	12.26a	9.99b	12.73a
C40	15.21a	9.39b	15.59a
C42	12.15a	5.73b	12.24a
C44	7.46a	3.97b	7.38a
C46	7.59a	4.11b	7.48a
C48	8.72a	6.64b	8.15a
C50	9.86a	13.27b	9.28a
C52	9.25a	21.48b	9.26a
C54	5.63a	15.06b	5.94a

\*Letras diferentes en la misma fila implican significancia al 95%

Para confirmar la presencia de grasa vegetal en marcas de leches comerciales, se implementó a nivel laboratorio la prueba de fitosteroles (cromatografía de gases con detector de ionización de flama). Los fitosteroles como: beta sitosterol, estigmasterol, campesterol, lanosterol y otros, son sustancias propias de la grasa vegetal y solo se encuentran en cantidades traza, en la grasa láctea. Se pudo determinar analizando las marcas de leche sospechosas (una pasteurizada, una ultrapasteurizada y cuatro reconstituidas), la presencia de dichos fitosteroles, con lo que se demostró que 30% de las marcas de leche industrializadas analizadas presentaban grasas vegetales, con ello estaban adulteradas y se engañaba entonces al consumidor (Pinto *et al.*, 1996; Vega, 2000).

Sin embargo, la determinación de grasa no láctea de origen animal (sebo de res, aceite de pescado y otras) y probablemente grasas sintéticas (estearinas) no pueden ser detectadas por la prueba antes citada, y para ello se implementaron nuevas técnicas, pero en esa ocasión empleando métodos



de análisis estadísticos (análisis de regresión múltiple y análisis discriminante lineal) del contenido de triacilglicérolos de mezclas de grasa láctea auténtica y grasas adulterantes (Gutiérrez, 2003).

En 1980, Timms propuso para detectar y cuantificar adulteraciones de la grasa láctea, el uso del análisis de Regresión Lineal Múltiple (RLM) tomando como variables reveladoras los TAG con números de carbono 40, 42 y 44. La propuesta se evaluó en 76 muestras de mantequillas australianas que fueron adulteradas en diferentes porcentajes con grasa no láctea de origen animal, concluyendo que la ecuación encontrada pudo detectar cantidades tan bajas como 5% de adulteración con 99% de confianza.

El análisis de RLM también fue usado en Alemania (Precht, 1991a; 1991b, 1992a, 1992b), donde se obtuvieron seis ecuaciones específicas para grasa láctea pura, logrando detectar grasas extrañas en niveles del 2, 4 y 8% de incorporación, con 95% de confianza; cuando la adulteración fue de 15% la detección con 99% de confianza. En consecuencia a estos resultados la Unión Europea (UE) oficializó la metodología convirtiéndola en un método de referencia para la detección de grasas extrañas en la grasa de la leche mediante el análisis de TAG por cromatografía de gases (CE, 2001). El análisis discriminante lineal (ADL) es otra opción para detectar grasa extraña en leche. En Chile una función discriminante permitió una clasificación de 97.2 ó 79.1% de muestras adulteradas con 10 ó 5% de grasa de origen animal (Pinto *et al.*, 2002).

Se obtuvo el perfil de los TAG en grasa láctea y no láctea por cromatografía de gases, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis discriminante lineal (ADL) con el propósito de detectar y cuantificar grasa no láctea en grasa láctea. Se analizaron muestras de grasas de leche cruda provenientes de la región central de México (n = 216) y leche ultrapasteurizada de tres industrias (n = 36), manteca de cerdo (n = 2), sebo de vacuno (n = 2), aceites de pescado (n = 2), cacahuete (n = 2), maíz (n = 2), oliva (n = 2) y soya (n = 2).

### **Triacilgliceroles en grasa láctea**

Las condiciones cromatográficas permitieron, en grasas de leches cruda y ultrapasteurizada, identificar y cuantificar TAG de 28 a 54 números de carbono (ver Figura 1). La composición de TAG (% p/p) de grasa de leches producidas en las tres regiones de estudio mostró diferencia significativa ( $P \leq 0.5$ ). Las diferencias de los resultados mostraron el efecto de los componentes de la dieta en cada región. La dispersión de los datos con respecto de las medias fue estimada con la desviación estándar hasta tres veces lo informado por otros investigadores para grasas lácteas australianas y chilenas (Parodi, 1973; Pinto *et al.*, 1987; Fontecha *et al.*, 2006; Gutiérrez *et al.*, 2006).

Los niveles de TAG (% p/p) obtenidos en grasas de leches UHT fueron semejantes ( $P > 0.05$ ) en cada uno de ellos. La industria 2 presentó similitud ( $P > 0.05$ ) con las grasas de las industrias 1 y 3 en los TAG C30, C32, C34 y C36.

### **Triacilgliceroles en grasa no láctea**

Los perfiles de TAG presentes en grasas no lácteas se muestran en las Figura 2. Se consiguieron picos definidos para el TAG de peso molecular medio C36 encontrado en las grasas de origen vegetal, así como para los TAG de peso molecular alto (C46-C56) encontrados en grasas de origen animal y de origen vegetal. Se identificaron seis señales cromatográficas en aceites de pescado y de cacahuete, cinco en manteca de cerdo, sebo de vacuno y aceite de soya; cuatro en aceite de girasol y maíz, y tres en aceite de oliva. Los TAG identificados comprendieron del C36 al C56, siendo cualitativa y cuantitativamente diferentes en cada una de las grasas en cuestión. El aceite de pescado, la manteca de cerdo y sebo de vacuno se caracterizaron por tener la presencia del C46 y C48, mientras que carecieron del C36 que fue determinado en todas los aceites vegetales. En los aceites vegetales predominaron el C48, C50 y C52, exceptuando el aceite de cacahuete, que registró además al C56, estos perfiles de TAG en grasas animales y vegetales coinciden con lo informado en estudios similares

realizados en Alemania (Precht, 1992a; 1992b). La grasa láctea presentó mayor complejidad que las grasas no lácteas.

El aceite de pescado presentó valores por arriba de 20% en cada uno los TAG C50, C52 y C54, sumando los tres 70.59%, este aceite contiene AG con números de carbonos de 14 a 22 y con diferentes grados de insaturación, por lo que, al igual que la grasa láctea, ofrece una variedad de especies moleculares (Detaillast *et al.*, 2006; Molketin, 2007). Los aceites de cacahuete, maíz, oliva y soya, que contienen considerables proporciones de linoleico, tuvieron su nivel más alto en el C52 con valores de 59.0, 66.21, 66.25 y 74.54%, respectivamente; solo el aceite de cacahuete registró C54, debido a su elevado contenido de linoleico, araquídico, araquidónico y lignocérico. La manteca de cerdo se caracterizó por su contenido de C50 (61.88%), mientras que en el sebo de vacuno los TAG C48, C50 y C52 representaron 85.43%, estas grasas son fuentes de palmítico y esteárico (Murray *et al.*, 2005).

Las muestras de grasa de leche cruda fueron adulteradas con las grasas no lácteas en proporciones de 0, 5, 10, 15 y 20%, conformando cinco grupos. La primera función obtenida del ADL permitió clasificar correctamente 94.4% de los casos con niveles inferiores al 10% de adulteración.

### **Composición en triacilgliceroles de grasa láctea y mezclas de grasa láctea con grasa no láctea**

Los resultados de la composición de los TAG en mezclas físicas de grasa láctea y grasas no lácteas (5, 10, 15 y 20%) mostraron que cuando el adulterante fue manteca de cerdo los TAG de C36 a C46 disminuyeron y el TAG C50 aumentó proporcionalmente al nivel de adulteración. Esto era de esperar, pues la manteca de cerdo no presenta TAG de C36 a C44 y el C46 tiene menor presencia comparado con los niveles encontrados en la grasa de leche pura, además de que el contenido del C50 en la manteca de cerdo es mayor tres veces al de grasa láctea auténtica. Para el sebo de vacuno los niveles de los TAG C32 a C40 disminuyeron y los niveles del C46 al C52 aumentaron en dependencia al índice de adulteración, este comportamiento

se debe a la ausencia de TAG de peso molecular bajo y al elevado contenido de TAG de peso molecular alto (C46 a C52) en el sebo de vacuno.

Con el propósito de demostrar la relación del porcentaje (nivel) de adulteración *versus* la proporción de TAG (%p/p) se desarrolló un análisis de regresión simple, con algunas variables de mezclas de grasa láctea con manteca de cerdo y sebo de vacuno, los resultados arrojaron ecuaciones de regresión que describen correctamente la relación entre las dos variables, pues los coeficientes de determinación oscilaron entre 0.92 a 0.96.

Cuando los aceites fueron los adulterantes, el patrón de comportamiento en los crecientes niveles de adición fue parecido al de la manteca de cerdo y sebo de vacuno. En general, el contenido de C52 en todos los aceites analizados fue de dos a tres veces mayor que el contenido de la grasa láctea, exceptuando al aceite de pescado, que fue 1.5 veces mayor.

Con estos resultados se comprobó que el contenido de TAG en grasa de leche varía en función del nivel de adición de grasa no láctea, justificando de esta manera el uso del razonamiento matemático (Timms, 1980) para la formación de grupos en el contenido de TAG de grasa láctea auténtica y mezclada con grasas extrañas, permitiendo un ahorro en tiempo y costo de los análisis, pero también arrojando resultados confiables.

### **Análisis discriminante lineal y su aplicación en la detección de adulteraciones en grasa láctea**

Los valores de TAG de las grasas de leche UHT fueron evaluados con la función discriminante, dando evidencia que una industria adicionó grasa no láctea a su producto en 80% de las muestras. Lo anterior mostró que el análisis del perfil de TAG por la técnica estadística de ADL, puede determinar correctamente, adulteraciones de grasa vegetal y animal por abajo del 10%. A ese nivel es posible que al industrial ya no le convenga adulterar la fracción grasa de la leche, por lo cual dicha técnica se recomienda para identificar adulteración de leche con grasa no láctea de origen animal (Gutiérrez, 2003).

Para reducir el universo de 11 variables (triacilgliceroles del C34 al C54) se realizó un análisis de componentes principales con el objeto de dejar únicamente las variables que aportaran mayor información (Afifi *et al.*, 2004; SPSS, 1997), reduciendo el espacio a tres variables: C36, C48 y C52. Se usaron en un primer análisis discriminante para adulteración de la grasa láctea con sebo de vacuno, se obtuvo 43.4% de clasificación correcta, lo que motivó a realizar otro ADL con selección de variables (C34 a C54) paso a paso (Afifi *et al.*, 2004; SPSS, 1997). Este procedimiento de selección ofreció un intervalo de 5 a 8 variables, lo cual dependió de la grasa empleada como adulterante.

Los cinco grupos de grasas formados (uno de grasa láctea pura y cuatro más con adulteraciones del 5, 10, 15 y 20%) permitieron matemáticamente encontrar cuatro funciones discriminantes, sin embargo, no todas tuvieron el mismo poder para separarlos, la primera función tuvo el mayor poder de clasificación, en consecuencia todos los cálculos se basaron en dicha función.

Los grupos centroides evaluados en la función discriminante corresponden a la media de los puntajes discriminantes para cada grupo sobre la función. El estudio de gráficos es particularmente de suma importancia para examinar la separación de los grupos centroides y su posición relativa. De esta manera se permite obtener histogramas de frecuencia absoluta de los puntajes discriminantes y por inspección visual se aprecia claramente la separación de los grupos (Figura 3).

En términos globales, se aprecia que los porcentajes de clasificación correcta varían en el orden del 80 al 100%, excepto cuando el adulterante fue aceite de pescado. Los grupos formados con el aceite de pescado como adulterante tuvieron porcentajes de clasificación correcta de 79.4, 78.0, 79.6 y 91.4 con niveles de adición de 5, 10, 15 y 20%, respectivamente. La clasificación correcta de los 184 casos agrupados originalmente fue de 82.50%. Para el caso del aceite de cacahuete usado como adulterante se logró una clasificación correcta entre el 85 al 98.1%. La clasificación global fue de 94.1%. Cuando el adulterante fue aceite de soya el análisis discriminante

fue satisfactorio al 100 por ciento de los casos. Los aceites de maíz y oliva reflejaron un elevado índice de clasificación correcta, tan solo cuando el nivel de adulteración fue del 5%, en ambos casos, los porcentajes fueron 95.7 y 93.4%, respectivamente. Cuando subieron los niveles de adulteración, subieron los porcentajes de clasificación hasta llegar al 100%.

Una de las situaciones por las que se propone este modelo de detección de grasa extraña en la leche y productos lácteos es la identificación de grasa no láctea de origen animal, ya que la de origen vegetal puede detectarse con relativa facilidad con una prueba de fitosteroles (NMX-F707-COFOCALEC-2004). Se pudieron detectar adulteraciones con manteca de cerdo y sebo de vacuno por arriba del 97% en la mayoría de los grupos; un comportamiento extraño se observó con el sebo de vacuno, por lo que los resultados obtenidos no se consideraron conclusivos.

Los resultados alcanzados con el ADL representan un avance importante en el estudio de las adulteraciones de la grasa láctea en México. Sin embargo, es conveniente seguir con este tipo de estudios, encontrando la manera de reducir la variabilidad de los datos y con ello probablemente se obtendrá el nivel de detección alcanzado por Precht (1992a, 1992b), que llegó a identificar por medio de ecuaciones de regresión múltiple, adiciones de grasas de origen vegetal (aceites de soya, palma, girasol, oliva y coco) y animal (manteca de cerdo y sebo de vacuno) a la grasa láctea en niveles hasta del 2%.

En otro estudio realizado en leche chilena (Pinto *et al.*, 2002), se aplicó un ADL con base en los TAG de 72 muestras de grasa láctea, obtuvieron tres funciones que identificaron adulteraciones del 5% en 88.3% de los casos. No obstante, el porcentaje alcanzado se encuentra por debajo de lo encontrado en este estudio (92.4%), lo cual indica la probabilidad de seguir aumentando, *a posteriori*, los niveles de clasificación correcta.

Los valores de TAG encontrados en las 36 muestras de grasa de leches UHT comercializadas en el Distrito Federal se sometieron a una evaluación bajo las funciones obtenidas en el ADL con el objeto de conocer la autenticidad de la grasa. Se encontró que 16.7% de las grasas de las industrias 1 y 3 no cayeron en la categoría de grasa láctea auténtica, pero lo so-

bresaliente fue que 83.3% de las muestras correspondientes a la industria 2 tampoco cayeron en la categoría de grasa de leche auténtica. Esto permite concluir que el ADL ofrece bondades en la detección de adulteraciones en la grasa de leches industrializadas hasta niveles de 5% o menos.

El análisis discriminante aplicado a variables seleccionadas por componentes principales no permitió tener resultados alentadores en la detección de adulteraciones en la grasa láctea. Sin embargo, el método de selección paso a paso basado en la distancia de Mahalanobis amplió el grupo de variables y, en consecuencia, el porcentaje de clasificación correcta. El porcentaje global de clasificación satisfactoria fue de 94.4%, por lo tanto resulta efectivo en detectar adulteraciones con niveles inferiores a 10%. Los resultados del análisis por cromatografía de gases de los TAG contenidos en la grasa de leches UHT, fueron sometidos a las funciones del análisis discriminante lineal, dando evidencia que al menos una industria adicionó grasa no láctea a su leche UHT en el 80% de las muestras analizadas.

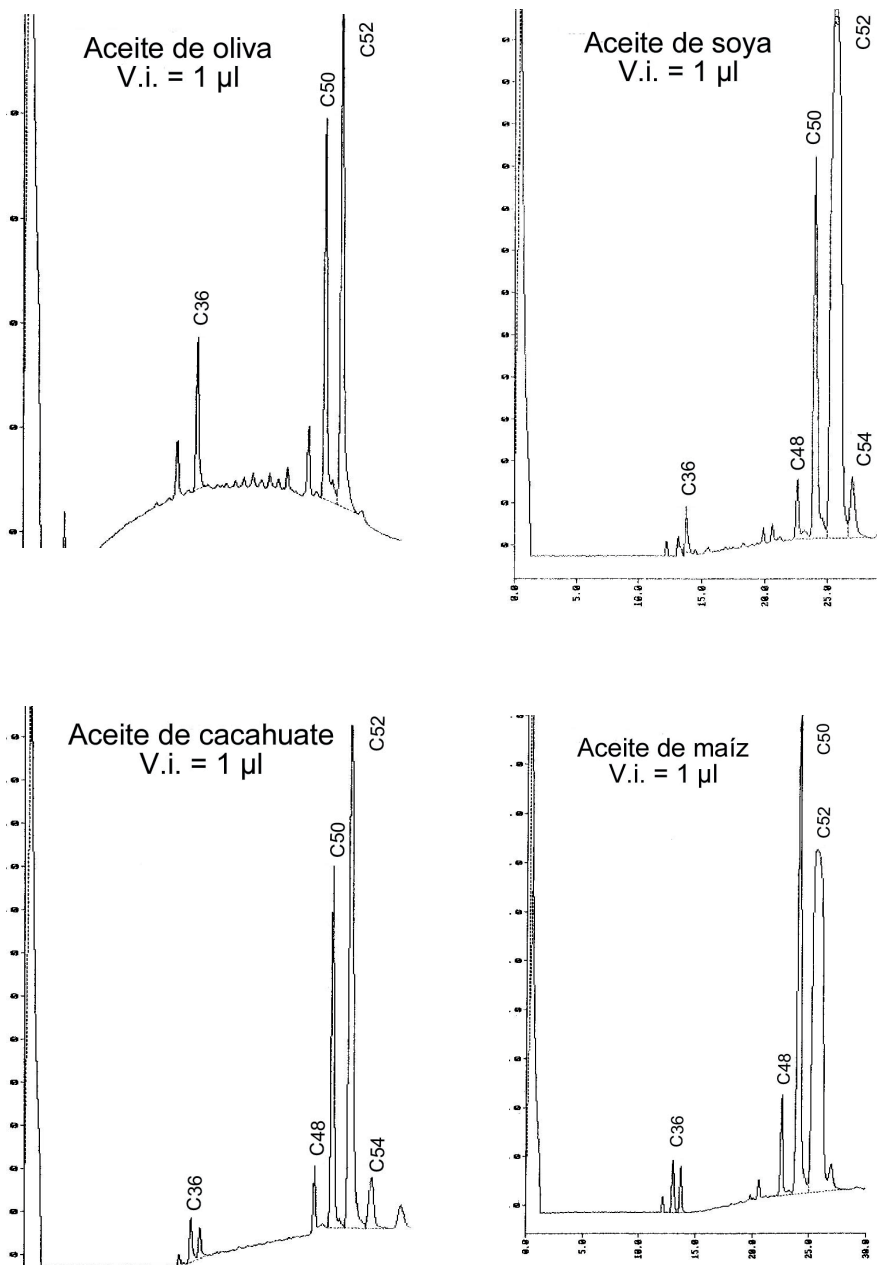
Los resultados obtenidos en esta investigación coadyuvan en una posible propuesta de iniciativa de norma nacional que verifique la autenticidad de la grasa láctea, en leche y productos lácteos. Los resultados obtenidos se publicaron en revistas de divulgación, especializadas y resumidas en ISI (Gutiérrez *et al.*, 2007; 2009) y además sirvieron de retroalimentación en propuestas de Normas Mexicanas como la NMX-F-707-COFOCALEC-2004.

### **Adulteración de la fracción proteica de la leche**

Al igual que la grasa de la leche, la fracción proteica de la leche también se adultera con diversas sustancias, como ya se explicó líneas atrás con melamina, pero también con suero de quesería y además con desecados de granos de soya y de chícharo. A continuación se detallan dichas adulteraciones.

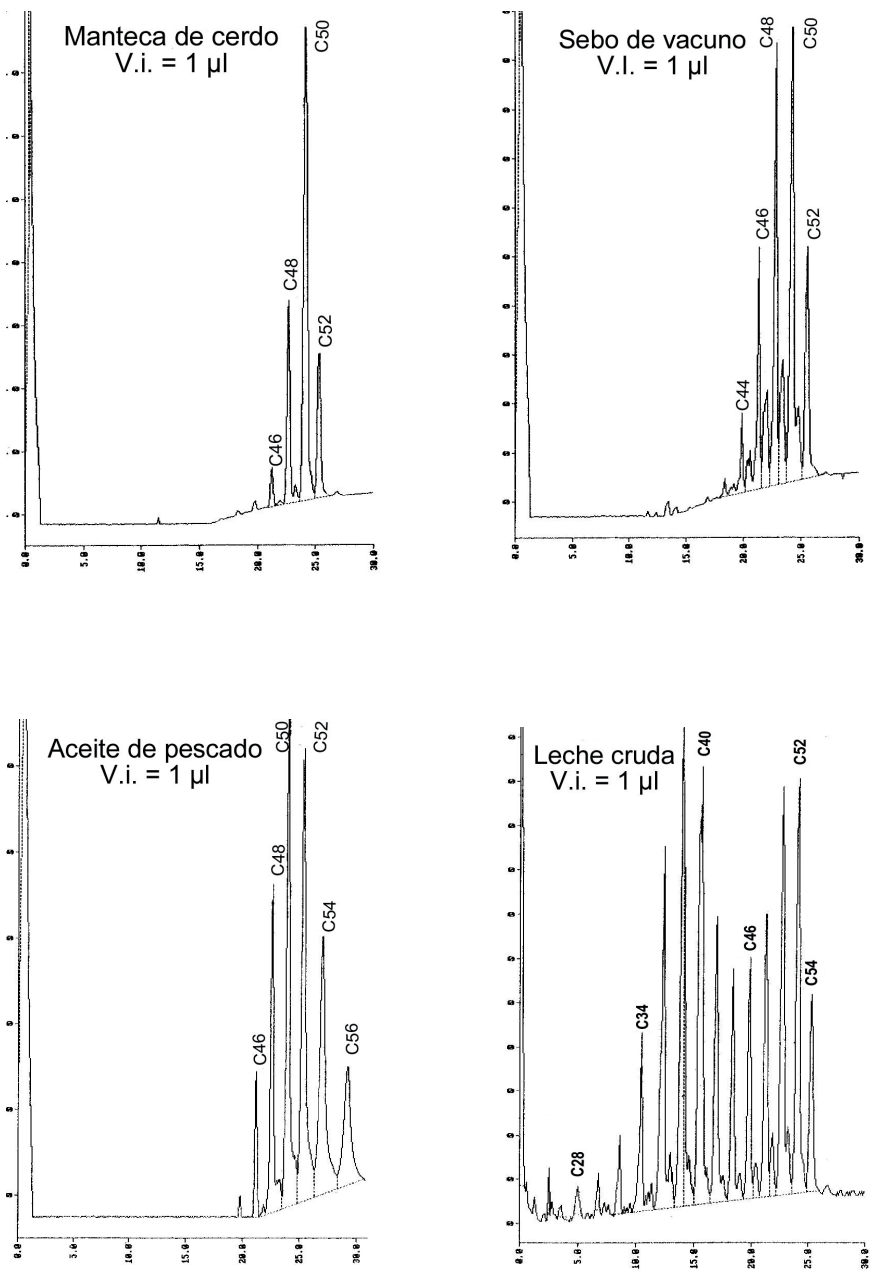
#### **Suero de quesería**

En los últimos años, la industria láctea desarrolló tecnologías como la concentración por membranas y la ultrafiltración, que hicieron posible la adulteración a partir de suero de quesería, como los concentrados

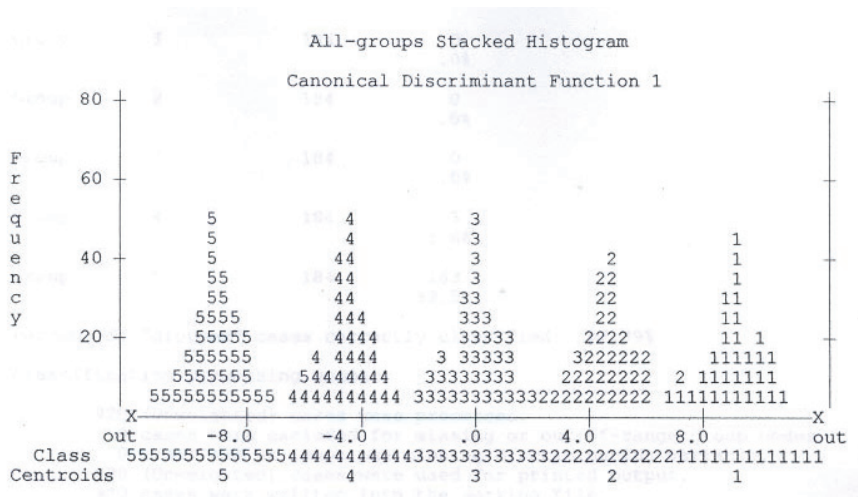


**Figura 1.** Cromatogramas de triacilglicérols presentes en aceites vegetales (V.i.: volumen de inyección al cromatógrafo de gases)





**Figura 2.** Cromatogramas de triacilglicerolos presentes en aceite y grasas animales (V.i.: volumen de inyección al cromatógrafo de gases)



**Figura 3.** Clasificación de grupos según función discriminante (1: muestras de grasa láctea pura, 0% de adulteración; 2: muestras de grasa láctea adulteradas en 5%; 3: muestras de grasa láctea adulteradas en 10%, muestras de grasa láctea adulteradas en 15%; 4: muestras de grasa láctea adulteradas en 20%)

de proteínas de suero (WPC, por sus siglas en inglés ), (Bordin *et al.*, 2001; Atra *et al.*, 2005).

El suero de quesería es el subproducto líquido obtenido de la elaboración del queso cuando se separa la cuajada. Dicho líquido posteriormente se seca y de ahí se obtienen los diferentes tipos de WPC (Fattori, *et al.*, 2009).

La adición de suero de quesería no es perjudicial para la salud humana, pero es una adulteración que permite a los industriales comercializar un producto lácteo con costo menor, que no es leche auténtica y con ello se engaña al consumidor.

En México la importación del suero de quesería y sus concentrados aumentó en los últimos años; de 51,328 toneladas en 1996, a 66,816 toneladas para 2004, con un valor de 68,079 dólares. Estos productos se han importado principalmente de Estados Unidos y de la Unión Europea (SIC-M, 2005) siendo una de las causas la tendencia de utilizar este producto como un medio para bajar costos y aumentar la rentabilidad en la elaboración de “productos lácteos” de menor calidad y bajos precios (FIRA, 2001).

La leche como producto procesado puede llegar al consumidor en diferentes presentaciones y en cualquiera de ellas puede existir adulteración con diversos propósitos, uno de ellos es obtener mayor rendimiento en el producto final. Por lo anterior, en la actualidad se ha dado una atención especial a la detección de sólidos lácteos que se pueden adicionar de forma fraudulenta a la leche fluida, en especial a la leche ultrapasteurizada (UHT), la cual ha aumentado su consumo en México y en otros países (Wolfshoon-Pombo, 1989; Sorensen, 1992; Recio *et al.*, 2000; Boletín de Leche, 2005).

La incorporación de sólidos procedentes de suero constituye una clara violación a la reglamentación vigente nacional e internacional. Tanto en países pertenecientes a la Unión Europea (UE) como en América Latina, la adulteración de leche fluida con suero de quesería va en aumento (Urbán, *et al.*, 2002), por esta razón continúan realizándose investigaciones en este sentido.

Asimismo, la presencia de agregados de suero de quesería en leche fluida representa un problema grave y causa de pérdidas económicas tanto para los productores nacionales como los industriales que elaboran sus productos a partir de leche fresca. Por otro lado, es un engaño a los consumidores ofrecerles leche adulterada con suero a un precio tal como si se tratara de un producto conteniendo exclusivamente sólidos no grasos provenientes de la leche. Para 2005 se calculaba que en Aguascalientes, México, el litro de suero de quesería costaba 12 o 13 veces más barato que el litro de leche cruda (Reyes *et al.*, 2007).

### **Detección de suero de quesería en leche**

La detección de adulterantes en leche realizada con subproductos lácteos como el WPC resulta muy difícil de revelar, ya que el producto final no contiene compuestos extraños a su composición. No obstante existen diversos métodos para su detección (Urbán *et al.*, 1998; Noa *et al.*, 2005).

Estos métodos pueden dividirse en directos e indirectos (Fattori, *et al.*, 2009). Los métodos indirectos son aquellos que no determinan la presencia de un agente extraño sino que detectan cambios en la proporción relativa

de los componentes, como por ejemplo la relación proteína total/proteína soluble, la cuantificación de grupos sulfhídricos/ gramos de proteína, la determinación del complejo cistina-cisteína o el aumento de los niveles de amonio (Alcazar-Montañez *et al.*, 2000), o bien como más adelante se explica, la relación proteínas de suero/caseínas en la leche (Meisel, 1995; Ramírez *et al.*, 2008; Ramírez *et al.*, 2009).

Por otro lado, los métodos directos son aquellos que sí detectan sustancias extrañas a la composición de la leche, como es el caso de la detección del glucomacropéptido (GMP), derivado del suero de quesería. El GMP es un péptido producto de la hidrólisis de la kappa (k) por la enzima quimosina, la que hidroliza la kappa (k)- caseína de la leche en el enlace 104-105 (fenilalanina y metionina), produciéndose dos fragmentos una porción hidrofílica, de carácter ácido formada por 64 aminoácidos, que es el GMP, la cual se mantiene en el suero y la otra porción hidrofóbica, de carácter básico compuesta de 105 aminoácidos, llamada para-caseína k, la cual queda retenida en la cuajada (Pinto, *et al.*, 1991; Brody, 2000; Fattori *et al.*, 2009).

Para detectar leche adulterada con suero de quesería se han desarrollado diversos métodos, diferenciándose éstos por la sensibilidad y complejidad del análisis. Muchos de ellos proporcionan solo ligeras indicaciones, pero no pruebas definitivas (Olieman y Bedem, 1983; Benítez, *et al.*, 2001).

Una alternativa para la demostrar la presencia de suero de quesería en leche corresponde a la detección del glicomacropéptido (GMP) mediante electroforesis en gel de poliacrilamida (SDS -PAGE). El grupo de trabajo de la UAM -X publicó en el 2002, luego de analizar 138 muestras de leche cruda, 84 de leche UHT de siete industrias lácteas diferentes y 96 de leche pasteurizada de ocho industrias, la evidencia que el 13.76, 57.1 y 37.5% de las muestras de leches cruda, UHT y pasteurizada respectivamente, fueron adulteradas con suero de quesería (Urbán *et al.*, 2002).

Por otro lado, en la ciudad de Aguascalientes, durante el 2005, se distribuían en el mercado mayoritariamente ocho marcas de leche pasteurizada y se desarrolló un experimento para detectar el GMP usando tres métodos la electroforesis SDS-PAGE, cromatografía de líquidos de alta presión

(HPLC) y la espectrofotometría de luz visible. Las muestras se tomaron mensualmente y se analizaron por triplicado (Reyes *et al.*, 2007).

Se encontró que al analizar ocho marcas de leche pasteurizada durante un año, al menos en alguna ocasión presentaron GMP, aunque en cinco muestras la adición determinada fue reducida (1.58-4.9%) y en otras dos marcas la cantidad de GMP encontrada fue alta ( $19.5 \pm 0.85$  y  $14.2 \pm 0.91$ ) (Reyes, *et al.*, 2007).

Una técnica que en los últimos años se ha propuesto es la determinación del intervalo natural de la relación proteínas de suero/caseínas en la leche, que utiliza la espectroscopía ultravioleta de la 4ª derivada (Meisel, 1995) cuya cuantificación está basada en la absorción de los aminoácidos triptófano (Trp) y tirosina (Tir), que tienen máximos y mínimos característicos diferenciados.

La leche contiene sustancias orgánicas que son las causas de las bandas de absorción características por debajo de 380 nm (región ultravioleta), y se debe a los aminoácidos de la serie aromática, tirosina y triptófano. Esta propiedad de absorción permite valorar las proteínas por espectrofotometría con rayos ultravioleta.

La relación proteína de suero/proteína total es un importante parámetro para la evaluación en la leche y productos lácteos, no únicamente los tratamientos tecnológicos aplicados sino también las adiciones fraudulentas de proteína (Miralles *et al.*, 2003).

En un experimento realizado en la UAM-X se determinó la presencia de suero de quesería en leches ultrapasteurizadas comercializadas en la Ciudad de México aplicando el método de la cuarta derivada del espectro de absorción en el ultravioleta para conocer la variación en la relación proteínas de suero/proteína total (PS/PT) como indicador de la adulteración con estas fracciones.

Se analizaron, durante tres meses, leches ultrapasteurizadas descremadas ( $n=30$ ). El análisis de las muestras permitió establecer una relación PS/PT media de 14.2% para ausencia de suero de quesería. Se encontró una diferencia marginal entre la relación PS/PT en la concentración al 0% entre la leche cruda y la leche UHT. Para el resto de las concentraciones se encontró

una significancia alta ( $p < 0.01$ ) lo que quiere decir que valores por encima de 13.5% de PS/PT podrían ser indicativos de adición de suero a la leche por lo que se consideró adición de suero a partir de valores por arriba del 5%.

El 36.66% de las muestras fueron positivas a la adición de suero. El nivel de adulteración fue mayor en tres de las marcas comerciales de leche UHT que coincide con los meses (septiembre, octubre y noviembre) en los cuales los sólidos totales son menores provocando que las industrias recurran a la adición de suero de quesería para estandarizar el contenido de sólidos en la leche (Ramírez *et al.*, 2008; 2009).

### **Determinación de proteínas de origen vegetal (soya y chícharo) en leche**

Otra posibilidad de adulterar la fracción proteica de la leche corresponde al adicionado de diferentes harinas proteínicas de origen vegetal (soya y/o chícharo), En México, el Consejo para el Fomento de la Calidad de la Leche (COFOCALEC) ha desarrollado un anteproyecto de Norma con la finalidad de extraer, separar e identificar proteínas de procedentes de desecados de soya o chícharo y aun proteínas hidrolizadas de origen vegetal presentes en la leche fluida y en polvo, mediante la separación electroforética respecto de su masa molecular (APNMX-PROY-MX-F-736/2-COFOCALEC-2009).

Para evidenciar la posible presencia de proteína de origen vegetal cruda y leche cruda y pasteurizada, las proteínas de la leche sospechosa son solubilizadas y removidas selectivamente empleando una disolución de tetraborato de sodio (Borax) y ácido etilendiamino-tetraacético (EDTA). Cualquier precipitado es tratado con una disolución amortiguadora de pH constituida por tris (hidroximetil)-aminometano (Tris), dodecil sulfato de sodio (SDS), 2-mercaptoetanol y ácido clorhídrico (HCl) con el fin de disolver y desnaturalizar las proteínas atribuibles a una posible adulteración. Tales proteínas se identifican por electroforesis capilar en gel de acuerdo a su masa molecular y se comparan contra patrones ya conocidos (APNMX-PROY-MX-F-736/2-COFOCALEC-2009).

### **Adulteración de leche bovina en leche de otras especies lecheras**

La adulteración de productos de origen animal como carne y leche con otras materias primas procedentes de especies animales diferentes, sucede sobre todo cuando existen diferencias importantes de precios entre ambas y también cuando hay poca disponibilidad de materias primas (Aranguren-Méndez *et al.*, 2009; Pellegrino *et al.*, 1991).

En este tipo de fraude o adulteración, lo que se hace es sustituir leche de cabra (*Capra hircus*), oveja (*Ovis aries*) o búfala (*Babalus babalus*), que tienen un precio mayor, por leche de vaca con un precio menor en el mercado, alterando las fórmulas originales de producción en quesos como: Manchego y Mozzarella.

Esta adulteración, además de engañar al consumidor, ofreciendo un producto con denominación que no corresponde con la original, tiene ventajas para el industrial, ya que puede aumentar el rendimiento en el caso de quesos, genera competencia desleal con otros fabricantes y además puede ocasionar problemas de salud entre consumidores susceptibles a alergias alimenticias ocasionadas por proteínas de origen lácteos bovinas (Rodríguez *et al.*, 2004).

Se han implementado en el pasado varios métodos para identificar proteínas de origen animal de especies diferentes en productos originales que no las deben de contener, dentro de ellos: la electroforesis capilar para proteínas solubles (Cartoni *et al.*, 1998); separación de proteínas de leche de bovinos en quesos de otras especies lecheras por medio de cromatografía de líquidos de alta presión (Pellegrino *et al.*, 1991) y además métodos inmunoenzimáticos (Addeo, 1995).

Es conocido, sin embargo, que durante el procesado industrial y la preparación culinarias de alimentos (tratamientos térmicos cómo: asado, hervido, ahumado, pasteurizado y ultrapasteurizado), las proteínas se desnaturalizan, lo que no ocurre con las moléculas de ADN, dado que son más estables a esos tratamientos (Hofmann, 1996).

Las metodologías modernas para el estudio del ADN, como la reacción en cadena de polimerasa (PCR), están desplazando a las técnicas analíticas que antes se describieron (Aranguren-Méndez *et al.*, 2009).

La técnica de PCR ha hecho posible detectar y cuantificar de manera exacta el origen de las materias primas usadas en la elaboración de un producto lácteo, debido a que el ADN se encuentra en todas las células nucleadas de cualquier tejidos o fluido de los animales; además de que la estructura del ADN de una especie no cambia a lo largo de toda la vida del animal, y en el caso de la leche no hay cambios luego del ordeño y de los tratamientos industriales (Feligini *et al.*, 2007 y Parejo *et al.*, 2002).

El ADN mitocondrial ha sido empleado como un marcador de especies, en particular en su región 12s ARNr (Feligini *et al.*, 2005), ya que posee una longitud aceptable, suficiente diferenciación entre especies próximas y acumula puntos de mutación interesantes que originan cambios puntuales capaces de diferenciar géneros o especies (Rastori *et al.*, 2004).

En la actualidad, esta técnica puede tener costos elevados, ya que los procesos de extracción del ADN, el diseño, elaboración o compra de cebadores especie-específico, la amplificación del ADN, la reacción de PCR y la detección en geles electroforéticos con agarosa a cualquier otra variante, requieren inversiones iniciales elevadas y personal altamente especializado, aunque los resultados obtenidos por este método son suficientes para detectar aproximadamente hasta cinco por ciento de leche bovina en leche de otras especies lecheras y sus productos derivados

## CONCLUSIONES

Los trabajos realizados en los últimos 50 años sobre los fraudes en leche cruda como productos lácteos industrializados, ponen de manifiesto que tanto algunos productores como algunos industriales adicionan una variada gama de sustancias adulterantes. Algunos como la melamina pueden comprometer la salud de los consumidores, pero otros, en general, son inocuos y difíciles de detectar, dada su composición química muy parecida a los componentes (proteínas y grasas) propios de la leche auténtica.

No obstante, cuando se adultera la leche y derivados se comete fraude a los consumidores, vendiéndoles un alimento que no corresponde con lo



que señala el etiquetado, además en muchas ocasiones se incumplen las buenas prácticas de producción agropecuarias e industriales y se observa competencia desleal entre productores e industriales.

Las posibilidades de detectar en la leche y derivados adulteraciones como las antes presentadas en este trabajo, se hace posible mediante prolongados estudios científicos, en ocasiones muy caros, pero cada vez más necesarios ya que se continúan presentando, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo este problema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Afifi A., Clark A.V. y May S. (2004). *Computer aided multivariate analysis*. 4th ed. Florida, USA: Chapman & Hall/CRC.
- Alcázar-Montañés C.D., Roas-Ramírez J., Jaramillo-Arango C.J. y Peña-Betancourt S.D. (2000). "Detección de glucomacropéptido (GMP) como indicador de adulteración con suero de quesería en leche deshidratada". En: *Veterinaria México*. 31: 217-222.
- APNMX-PROY-MX-F-736/2-COFOCALEC (2009). "Sistema Producto Leche-Alimentos-Lácteos-Identificación de proteínas en leche". Parte 2: Determinación de proteínas de origen vegetal (soya y chícharo) en leche mediante electroforesis capilar en gel. Método de Prueba (s.c.) México.
- Atra R., Vatai G., Bekassy-Molinar E. y Balint A.A. (2005). "Investigation of ultra and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose". En: *Journal of Food Engineering*. 67 (3): 325-332.
- Benítez E., Ponce P. y Noa M. (2001). "Detección de suero de quesería en leche en polvo por HPLC de filtración por gel (GFC-HPLC)". En: *Rev. Salud Animal*. 23(1): 27-31.
- Boletín de Leche* (2005). Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Enero-junio de 2005. México.
- Bordin G., Cordeiro R., De la Calle B., Rodríguez A.R. (2001). "Identification and quantification of major bovine milk proteins by liquid chromatography". En: *Journal of Chromatography Applied*. 928: 63-76.

- Addeo F., Nicolai M.A., Chianese L., Mojo L., Spagna–Musso S., Bocca A., Del Giovine L.A. y Nota G. (1995). “A control method to detect bovine milk in ewe and wáter buffalo cheese using immunoblotting”. En: *Milchwissenschaft* 50: 83-85.
- Amaro López A. (1900). Higiene, inspección y control de los alimentos. Historia, presente y futuro. Disponible en: <http://www.uco.es/organiza/departamento/bromatologia/nutybro/higiene-alimentaria/documentos/historiaweb.pdf>
- Andersen W.C. y Turnip Seed S.B. (2008). “Determination and confirmation of melamine residues in catfish, trout, tilapia, salmon, and shrimp by liquid chromatography with tandem mass spectrometry”. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 (12): 4340-4347.
- Aranguren-Méndez M., Ruiz J., Villasmil–Ontiveros Y., Yáñez L., Borjas L. y Zabalá W. (2009). “Identificación de especies en productos de origen animal mediante PCR”. En: *Revista Científica FCV –Luz*. 19(2): 159-164.
- Baynes R.E. y Smith G. (2008). “Pharmacokinetics of melamine in pigs following intravenous administration”. En: *Food and Chemical Toxicology* 46: 1196-1200.
- Bordin G., Cordeiro R., De la Calle B. y Rodríguez A.R. (2001). “Identification and quantification of major bovine milk proteins by liquid chromatography”. En: *Journal of Chromatography Applied*, 928: 63-76.
- Brody E.P. (2000). “Biological activities of bovine glycomacropeptide”. En: *British Journal of Nutrition*. 84. Suppl.1: S39-S46.
- Cartoni G., Coccioli F., Jasionowka R. y Masci M. (1998). “Determination of cow milk in buffalo milk and Mozzarella cheese by capillary electrophoresis of the wey protein fraction”. En: *Italian Journal Food Science*. 2: 127-131.
- CE. (2001). “Comunidades Europeas. Métodos que deben utilizarse para el análisis y evaluación de la calidad de la leche y de los productos lácteos”. En: Reglamento (CE) No. 213/2001. Diario Oficial de las Comunidades Europeas No. L.037 del 07/02/01. (s.c., s.l.).
- Consejo para el Fomento de la Calidad de leche y Derivados A.C. (COFOCALEC). (2004). “NMX-F-707-COFOCALEC-2004. Alimentos–lácteos–determinación de fitosteroles en leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado, queso, crema y mantequilla por cromatografía de gases–método de prueba”. México.
- De Vries V.A. y Risco C. C. (2005). “Trends and seasonality of reproductive performance in Florida and Georgia dairy herds from 1976 to 2002”. En: *Journal of Dairy Science*. 88: 501-512.

- Dennis M.J. (1998). "Recent developments in food authentication". *Analyst*. 125: 151R-156R.
- Destaillets F., de Wispelaere M., Joffre F., Golay P.A., Hug B., Giuffrida F., Fauconnot L. y Dionisi F. (2006). "Authenticity of milk fat by fast analysis of triacylglycerols: application to the detection of partially hydrogenated vegetable oils". *Journal of Chromatography. Applied*. 1131: 227-234.
- Díaz-González G., Gutiérrez R., Pérez N., Vega S., González M., Prado G., Urbán G., Ramírez A. y Pinto M. (2002). "Detección de adulteraciones de leche pasteurizada mexicana mediante el análisis por cromatografía gas líquido de su contenido en ácidos grasos, triacilgliceroles y esteroles". En: *Salud Animal*. 24(1): 54-59.
- Ehling S. y Tefera S. (2007). "High-performance liquid chromatographic method for the simultaneous detection of the adulteration of cereal flours with melamine and related triazine by-products ammeline, ammelide, and cyanuric acid". En: *Food Additives and Contaminants*, 24(12): 1319-1325.
- El Mundo* (2006). "Intervenidos en Cataluña 76,000 litros de aceite de girasol que se vendían como aceite de oliva". 12 de abril del 2006. Disponible en: <http://www.elmundo.es/mundo/2006/04/12/sociedad/1144838362.html>
- El Universo* (2008). "¿Qué es la melamina?" *eluniverso.com*. Noticias del Ecuador y del mundo. 22 Septiembre 2008, consultado 27 octubre 2008]. Disponible en <http://www.eluniverso.com/2008/09/22/0001/14/internacionales.html>
- Fattori S., Garbini A., Knecher M. y Zubieta O. (2009). "Detección de suero de queso en leche en polvo por isoelectrochoque". En: *Boletín para profesionales*, 17(2): 9-16.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). (2001). "Tendencias y oportunidades de desarrollo de la red de leche en México". En: *Boletín Informativo*. 23 (317): 81-93.
- FIL/IDE. (1983). *Dictionary of dairy terminology*, (v. 1). Amsterdam. Elsevier. 328 p.
- Feligini M., Alim N., Bonizii I., Enne G. y Aleandri R. (2007). "Detection of adulteration in Italian Mozzarella cheese using mitochondrial DNA templates as biomarkers". En: *Food Technol. Biotechnol.* 43: 91-95.
- Fontecha J., Mayo T. y Juárez M. (2006). "Triacylglycerol composition of protected designation of origin cheeses during ripening". Authenticity of milk fat. En: *Journal of Dairy Science*, 89: 882-887.
- Gutiérrez R. (2003). "Detección estadística de la adulteración de la grasa láctea". Tesis doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana, México.

- Gutiérrez R., Díaz-González G., Vega S., Méndez I., Delgadillo H., Pérez N. y Pinto M. (2004). "Determinación de triacilglicerolos (% P/P) presentes en grasas de origen animal y vegetal mediante la técnica de cromatografía de gases capilar". En: *Agrosur*, 32(1): 68 - 75.
- Gutiérrez R., Vega S., Díaz G., Delgadillo H.J., Urbán G., Ramírez A., González C. and Méndez I. (2007). "Detección de grasa extraña en grasa láctea por cromatografía de gases y estadística multivariable". En: *Agrociencia*. 41: 733-742.
- Gutiérrez R., Vega S., Díaz G., Sánchez J., Coronado M., Ramírez A., Pérez J., González M., Schettino B. (2009). "Detection of non-milk fat in milk fat by gas chromatography and linear discriminant analysis". *Journal Dairy Science*, 92: 1846-1855.
- Hofmann K. (1996). "Proof of proper heating of meat and bone meals". En: *Feischirtschaft*: 10: 1037-1039.
- Lipps M. (1995). "Review of methods for the analysis of triglycerides in milk fat: applications for studies of milk quality and adulterations". En: *Food Chemistry*, 54: 213-221.
- Jensen R. (2002). "The composition of bovine milk lipids: January 1995 to december 2000". En: *Journal of Dairy Science*. 20. 85: 295-350.
- Juárez M. (1983). "Aplicaciones de las técnicas cromatográficas al control de calidad de los productos lácteos". En: *Revista Agroquímica Tecnología Alimentos* 23(4): 467-485.
- Meisel H. (1995). "Application of fourth derivative spectroscopy to quantitation of whey protein and casein in total milk protein". En: *Milchwissenschaft*. 50 (5):247-251.
- Meljem J. (1993). "La calidad sanitaria de la leche". En: II Taller Internacional sobre Calidad de la Leche, UAM-X, DPAA, Memorias, México, pp. 28-39.
- Miralles B., Ramos M. y Amigo L. (2003). "Influence of proteolysis of milk on the whey protein to total protein ratio as determined by capillary electrophoresis". En: *Journal of Dairy Science*, 86: 2813-2817.
- Molketin J. (2007). "Detection of foreign fat in milk fat from different continents by triacylglycerol analysis". En: *European Journal of Lipid Science and Technology* 109(5): 505-510.
- Molketin K. y Precht D. (1994). "Comparison of packed and capillary columns for quantitative gas chromatography of triglycerides in milk fat". En: *Chromatographia*. 39(5/6): 265-270.

- Murray R.K., Mayes P.A., Granner D.K. and Rodwell V.W. (2005). "Harper Bioquímica ilustrada". En: *Manual Moderno*. 751 p.
- NMX-F-707-COFOCALEC (2004). Sistema producto leche. Determinación de fitosteroles en leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado, queso, crema y mantequilla, por cromatografía de gases-Método de prueba. México. 14 pp.
- Noa M., Pérez N., Díaz G. y Vega S. (2005). "Cromatografía de gases y de líquidos de alta resolución: aplicación en el análisis de alimentos". En: *Serie Académicos CBS No. 57*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- NOM-155-SCFI (2003). Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. México. 46 pp.
- Olieman C. y van den Bedem J.W. (1983). "A sensitive HPLC method detecting and estimating rennet whey solids in skim milk powder". En: *Netherlands. Milk Dairy Journal*, 37: 27-36.
- Palmquist D.L., Beaulieu A.D., Barband D.M. (1993). "Feed and animal factors influencing milk fat composition". En: *Journal of Dairy Science*, 76: 1753-1771.
- Parejo J., Padilla J., Tabasco A., Sansin-Soriano M. y Martínez-Trancon M. (2002). "Populations structure in the endangered Blanca Cacereña bovine breed demonstrated by RAPD analyses". En: *Genes & Genetic Systems*. //: 51-58.
- Parodi P.W. (1971). "Detection of synthetic and adulterated butterfats. III Triglyceride and fatty acid analysis". En: *Australian Journal of Dairy Technology*. 26(1):1 55-158.
- Parodi P.W. (1973). "Detection of synthetic and adulterated butterfats. IV. GLC triglyceride analysis". En: *Australian Journal of Dairy Technology*, 28(1): 39-41.
- Pellegrino L., De Noni I., Tirelli A. y Resmini P. (1991). "Detection of cow milk in non -bovine cheese by HPLC of whey proteins". En: *Science. Tecnologist. Lattin* 42: 87-94.
- Pérez N., Díaz-González G., Gutiérrez R., Vega S., Urbán G., Prado G., González M., Ramírez A. y Pinto M. (1998). "Composición en ácidos grasos de la grasa de leche pasteurizada mexicana". En: *Veterinaria México*, 29 (4): 329-335.
- Pinto C.M., Fernández de la Reguera P., and Villanueva S.B. (1987). "Detección y cuantificación de adulteraciones en grasa láctea. Análisis de regresión múltiple". En: *Agro Sur*, 15(1): 32-38.

- Pinto C.M., Casadini V.S., Brito C.C., Molina C.H. e Israel A.L. (1991). "Detección de sólidos totales de suero de quesería en leche pasteurizada y leche en polvo por electroforesis en gel de poliacridamida-SDS". En: *Alimentos*, 16: 23-31.
- Pinto M., Brito C., Yáñez S., Vega S., Pérez N., Urbán G. y González M. (1996). "Avances en la analítica de la leche y los productos lácteos". En: *Archivos de Medicina Veterinaria*, 20(1): 34-44.
- Pinto M., Shamshiri S., Carrasco E., Brito C. y Molina L. (2001). "Variaciones estacionales de los triacilglicéridos en grasa de leche de bovinos". En: *Agro Sur*, 29 (2): 120-127.
- Pinto C.M., Contreras M.O., Carrasco R.E., Brito C.C., Molina H.C.L., Ah-hen S.K., and Vega S.L. (2002). "Determinación de la autenticidad de grasas lácteas. Análisis discriminante lineal de triacilglicéridos". En: *Agro Sur*, 30(1): 59-67.
- Precht D. (1991a). "Control of milk fat purity by gas chromatographic triglyceride analysis". En: *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*, 43: 219-242.
- \_\_\_\_\_ (1991b). "Detection of adulterated milk fat by fatty acid and triglyceride analysis". En: *Fat Science. Technology*, 93: 538-544.
- \_\_\_\_\_ (1992a). "Detection of foreign fat in milk fat". En: *Lebensm Unters Forsch*, 194: 1-8.
- \_\_\_\_\_ (1992b). "Detection of foreign fat in milk fat". En: *Lebensm Unters Forsch*. 194:107-114.
- Ramírez A., Vega y León S., Prado G. y Gutiérrez R. (2009). "Aplicación de tres métodos analíticos para la detección de suero de quesería en leche UHT comercializada en la ciudad de México". En: *Interciencia*, 34(6): 406-412.
- Ramírez A., Vega S., Prado G., Gutiérrez R. y Pérez C. (2008). "Detección de suero de quesería en leches ultrapasteurizadas mexicanas mediante la cuarta derivada del espectro de absorción". En: *Veterinaria México*. 39(1): 17-27.
- Recio I., García Risco M.R., López-Fandiño R., Olano A., Ramos M. (2000). "Detection of rennet whey solids in UHT milk by capillary electrophoresis". En: *International Dairy Journal*, 10(5/6): 3.
- Reyes J., Bon, F., Moreno J., Rubio C. y Valdivia A. (2007). "Adulteración de leche pasteurizada con suero de quesería en la ciudad de Aguascalientes". En: *Avances en Investigación Agropecuaria*. 11(2): 23-24.
- Rodríguez M., García T., González I., Asencio L., Hernández P. y Martín R. (2004). "PCR identification of beef, sheep, goat and pork in raw and meat mixtures". En: *Journal of Food Protection*. 67: 172-177.

- Rodríguez F. y Juárez M. (1995). "Técnicas analíticas para garantizar la calidad de los productos lácteos". En: *Revista Española de Lechería*. 3: 30-39.
- Secretaría de Agricultura y Ganadería (Sagarpa) (2009). "Jalisco-Aumenta presencia de leche adulterada en la entidad". Disponible en: <http://www.inocuidadalimentaria.org/noticias/56-lacteos/206-jalisco-aumenta-presencia>. Consultado 2 02 2010.
- Secretaría de Economía (2003). Norma Oficial Mexicana NOM155-SCFI-2003, Leche, Fórmula láctea y Producto lácteo combinado -Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. México.
- Secretaría de Economía/ Sistema de Información Comercial de México (SIC-M). (2005). En: *Boletín de Leche 2005*. México.
- Senado de la República (2008). Proposiciones de los Ciudadanos Senadores. Disponible en: <http://www.senado.gob.mx/gace61.php?>. Consultado, 2 02 2010. México.
- Sorensen H.H. (1992). "The liquid milk market". En: *Bulletin of the International Dairy Federation*. 280: 46-64.SPSS inc. (1997).
- Guía del usuario del sistema base de SPSS™ 7.5 para Windows. Irlanda.
- Timms R.E. (1980). "Detection and quantification of non-milk fat in mixtures of milk and non-milk fats". En: *J. Dairy Res.* 47: 295-303.
- Unión Europea (2008). "Decisión de la comisión de 26 de septiembre de 2008 por la que se establecen las condiciones particulares de importación de productos que contienen leche o productos lácteos originarios o procedentes de China". En: *Diario Oficial de la Unión Europea*. Bruselas.
- Urbán G., Pérez N., Pérez J., Fresán C., González C., Vega S., Gutiérrez R. y Díaz G. (2002). "Detección de adulteración con suero de quesería en leches fluidas mexicanas mediante electroforesis en gel de poliacrilamida (SDS-PAGE)". *Rev. Salud Animal*. 24(1): 60-64.
- Urbán G., Pérez N., Vega S., Fresán C., Pérez J., Prado G., González M., González C. y Pinto M. (1998). "Separación por electroforesis (PAGE-sds) del caseinomacropéptido liberado por 7 - quimosina sobre la k-caseína. Efectos de proteólisis por bacterias psicrotrofas". En: *Agrosur*. 26(2): 110-120.
- USFDA (2007). "Interim Melamine and analogues safety/risk assessment". En: US Food and Drug Administration. Consultado: 25 de mayo 2007. Disponible en: <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/melamina.html>
- \_\_\_\_\_ (2008). "Melamine Contamination in China". Consultado: 18 de octubre de 2008. Disponible en: <http://www.fda.gov/default.htm>

- Vega S., Pérez N. y Pinto M. (1999a). “Calidad de la leche y algunos problemas de adulteración”. En: Martínez E., García L. y Álvarez A. *Dinámica internacional y regional de los sistemas lecheros*. México, D. F. Plaza y Valdés Editores. México.
- Vega S., Pérez N., Pinto M., Díaz-González G., Gutiérrez R., Urbán G., González M.M., Prado G. and Ramírez A. (1999b). “Composición en ácidos grasos y triglicéridos de leche pasteurizada comercializada en la Ciudad de México”. En: *Rev. Salud Anim.* 21(1): 1-4.
- Vega S. (2000). “Caracterización de los ácidos grasos y triacilglicérolos de leche bovina en México y su aplicación e la determinación de adulterantes de grasa láctea”. Tesis doctorado. Universidad Agraria de La Habana, Cuba.
- Vega S., Gutiérrez R., Pérez N., Díaz G., Urbán G., Prado G., Coronado M., Ramírez A. y Pinto M. (2002). “Composición en triacilglicérolos y esteroides de grasa láctea y margarinas mexicanas”. En: *Salud Animal.* 24(1): 48-53.
- Vega S., Gutiérrez R., Díaz G., Coronado M., Salas J. y Pérez J. (2006). “Avances en el estudio de la adulteración de la grasa láctea”. En: *Carnilac Industrial.* 21(5): 10-16.
- Vega S., Pérez N., Gutiérrez R., Díaz-González G., Urbán G. y Pinto M. (2004a). “Composición en triacilglicérolos de leche proveniente del Altiplano mexicano”. En: *Agrosur.* 32(1): 59-67.
- Vega S., Pérez N., Gutiérrez R., Díaz-González G., Urbán G., Prado G., Ramírez A. y González M. (2004b). “Determinación de la temperatura crítica de disolución en grasa de leche cruda, procesada y margarinas producidas en la región central de México”. En: *Salud Animal.* 26(1): 19-23.
- Wolff R.L., Bayard C.L., Fabien R.J. (1995). “Evaluation of sequential methods for the determination of butterfat fatty acid composition with emphasis on trans-18:1, acids. Application to the study of seasonal variations in French butters”. En: *J. Am. Oil Chem. Soc.* 72: 1471-1483.
- Wolfshoon-Pombo A.F. y Moreira-Furtado M.A.M. (1989). “Detection of adulteration of pasteurised milk with whey by determination of the casein-bound phosphorus and protein nitrogen content. Z”. En: *Lebensm Unters Frosch.* 188: 16-21.



# METODOLOGÍAS APLICADAS EN LA DETECCIÓN DE ADULTERACIONES DE LA LECHE

*R. Gutiérrez<sup>1</sup>, S. Vega<sup>1</sup>, A. Ramírez, M. Coronado, F. Martínez, J. Pérez, M. L. Ramírez, G. Urbán*

**RESUMEN** La adulteración de la leche y productos lácteos ha sido y sigue siendo un problema importante en la industria alimentaria; también se considera un fraude ya que se engaña a los consumidores y autoridades. La evidencia de la adulteración de la leche es una situación difícil de comprobar, dado que los componentes que se adicionan o mezclan son similares al producto lácteo. Por ejemplo, es posible encontrar proteínas y materias grasas ajenas al producto original, proviniendo de productos vegetales como proteína de soya y chícharo y de otras especies como el sebo de vacuno. La práctica de adulterar la leche se debe principalmente a que las materias primas con las que se adultera son más baratas que la propia leche. El objetivo de este trabajo es presentar algunos métodos de prueba para determinar adulteraciones en la leche, los cuales han sido validados suficientemente en los Laboratorios de Análisis de Lácteos e Instrumentación del Departamento de Producción Agrícola y Animal de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

**Palabras clave:** adulteración, proteínas, lípidos, leche, México.

Departamento de Producción Agrícola y Animal, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Calz. Hueso 1100, Col. Villa Quietud, C.P. 04960, Coyoacán, México, D.F. México. Correos electrónicos: reygut@correo.xoc.uam.mx; svega@correo.xoc.uam.mx; acaram@correo.xoc.uam.mx

<sup>1</sup> **Cuerpo Académico:** Producción, Calidad e Inocuidad de la Leche y sus Derivados

**ABSTRACT** Adulteration of milk and dairy products is a problem in the food industry in Mexico, it is also considered a fraud as consumers and authorities are deceived by farmers or dairies who adulterate milk. However, it is difficult to proof adulteration because ingredients or components used to perpetrate this fraud are similar to those of the milk. For example, it is common to find proteins and fats, which are not natural of milk like protein from soya beans or peas and fat from suet. Adulteration of milk with these substances is done because they are cheaper than milk's fat and protein. The objective of the present work is to describe various laboratory methods to identify adulteration in milk, which have been validated at the laboratory of analysis of dairy products of the department of Animal and Agricultural production of the division of biological and health science of Universidad Autónoma Metropolitana.

**Key words:** milk, adulteration, Mexico

## INTRODUCCIÓN

El tema de la autenticidad de los alimentos es actual y de gran importancia para investigadores, consumidores, productores e industriales en toda la cadena producción-consumo de leche y sus derivados. Todo producto terminado, incluso la materia prima, debe cumplir con los requerimientos legales de etiquetado, en términos de ingredientes, proceso de producción e identidad genética. Los productos lácteos son de particular interés, debido a que representan un grupo de alimentos que tienen un papel relevante en la alimentación humana y son indispensables para algunos grupos (mujeres embarazadas y niños). La leche cruda tiene un costo de producción elevado y de igual manera la agroindustria asociada a ella encarece cada uno los productos lácteos que van obteniendo, por lo que modificar su composición y reemplazar parte de sus componentes por otros más baratos es una práctica atractiva para los industriales lecheros. En este caso se está cometiendo un fraude contra los consumidores y autoridades. En muchos países y tomando como ejemplo la Unión Europea, la reglamentación sobre la autenticidad de los productos lácteos es muy estricta, solo se aceptan adiciones de minerales, vitaminas y proteínas propias de la leche a la leche. De

hecho, no se permite substituir grasa o proteína con otros de origen ajeno (De la Fuente y Juárez, 2005). En México, la legislación mexicana establece, entre otras especificaciones, que la adulteración de la leche ocurre cuando su composición no corresponde a su denominación, etiquetado, anuncio, suministro o cuando no corresponde a las especificaciones establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2003, Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba (NOM-155-SCFI-2003).

Desde la década de los setenta del siglo pasado se han venido proponiendo diversos métodos de prueba para determinar la autenticidad de la leche y productos lácteos. Sin embargo, aun cuando existen criterios estrictos para la definición de un producto, prácticamente los métodos para determinar la autenticidad de los productos lácteos son inexistentes o no se encuentran disponibles. La estrategia de visualizar adulteraciones en los productos es bajo indicadores específicos de la leche, por ejemplo, algunos componentes (proteínas, esteroides, ácidos nucleicos, otros), o mediante la determinación de cocientes entre algunos de sus constituyentes químicos, asumiendo que los cocientes son constantes del producto lácteo en particular. Con esta perspectiva, si se adicionan sustancias extrañas a la leche y/o sus derivados el valor del cociente se verá alterado y con ello se demuestra la adulteración. En esta temática existen muchos procedimientos de clasificación que pueden ser aplicados para comparar similitudes o diferencias entre datos de muestras comerciales de productos lácteos con datos de muestras auténticas (Gutiérrez *et al.*, 2007). Los avances en la ciencia láctea han alcanzado gran desarrollo en los últimos tres lustros, derivados fundamentalmente de las innovaciones en las técnicas cromatográficas, inmunoenzimáticas y electroforesis capilar. Además, se deben considerar los vínculos de disciplinas aplicadas a los análisis de los lácteos como resultados de los análisis en otros alimentos y que usan otras técnicas analíticas como PCR (reacción en cadena de las polimerasas, por sus siglas en inglés) y espectrometría de masas (De la Fuente y Juárez, 2005).

El objetivo de este capítulo es presentar los métodos de prueba con mayor potencial en la detección de adulteraciones de la leche y sus derivados, particularmente en la detección y cuantificación de grasa y/o proteína extrañas en los productos lácteos, mezclas de leches de especies diferentes y suero de quesería en leche. Los técnicos y responsables de los laboratorios de industrias e instituciones de educación superior, así como los alumnos, profesores e investigadores en el área de lácteos, encontrarán la información necesaria sobre los principios y técnicas de análisis por cromatografía gas-líquido para determinar ácidos grasos, triacilglicéridos y esteroides en grasa láctea. También se presentan metodologías con aplicación de técnicas espectrofotométricas, electroforesis y cromatografía líquida de alta resolución en la identificación y cuantificación de suero de quesería en leche y sus derivados. Los métodos que se describen en este documento han sido validados en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco y algunos están agendados como propuestas para Normas Mexicanas en el Subcomité de Métodos de Prueba del Organismo Nacional de Normalización para el Fomento de Calidad de la Leche (COFOCALEC A.C.).

## 1. EXTRACCIÓN DE LA MATERIA GRASA EN LECHE FLUIDA (CRUDA, PASTEURIZADA, ULTRAPASTEURIZADA Y EN POLVO RECONSTITUIDA)

Para el análisis de los lípidos contenidos en la leche es necesario extraer la grasa de la leche antes de su análisis por cromatografía de gases. Es importante mencionar que el método propuesto en este documento es aplicable para leche fluida, ya sea cruda, pasteurizada y ultrapasteurizada, sin embargo, también tiene aplicación para leche en polvo, siempre y cuando se reconstituya cumpliendo con las características de la leche entera (NOM-155-SCFI-2003). Asimismo, puede extenderse su uso a la crema, para ello debe diluirse de tal manera que cumpla con el contenido de grasa en leche (3 a 4%). El método de extracción de grasa emplea una solución detergente bajo lo establecido por Moubry *et al.* (citado por Frank *et al.*, 1975).

## Materiales y equipos para la extracción de la grasa de un litro de leche

- 2 Probetas de 250 mL
- 3 Matraces volumétricos de 500 mL
- 1 Termómetro
- 1 Pipeta de 10 mL
- 1 Propipeta
- 2 Tubos de plástico para centrífuga Gerber
- 1 Embudo de vidrio de tallo corto
- 1 Tubo de ensayo
- 1 Espátula
- Papel filtro de velocidad media (Whatman # 2)
- Papel parafilm
- Baño de agua con termostato a 100 °C
- Horno a 50-60 °C
- Congelador graduado a -20 °C

### Reactivos

*Solución detergente.* Pesar 50 g de hexametáfosfato de sodio (grado comercial) y disolverlo en 450 mL de agua destilada, agregar 24 mL de Tritón X-100 (grado químicamente puro, Bio-Rad), aforar a 1000 mL con agua destilada

- Sulfato de sodio anhidro granular (grado reactivo, Baker)

### Procedimiento

1. Medir 250 mL de leche y transferirla a un matraz volumétrico de 500 mL.
2. Medir 250 mL de detergente y vaciarlo al matraz volumétrico que contiene la leche.
3. Colocar el matraz volumétrico conteniendo la mezcla de leche y detergente en baño de agua a 90 °C por 15 minutos, hasta que se observe la separación de la grasa en el cuello del matraz.
4. Sacar el matraz del baño de agua y agitar vigorosamente durante 2 minutos, colocar nuevamente el matraz volumétrico en el baño de agua.

5. Esperar otros 15 minutos, hasta que se observe nuevamente la separación de la grasa en el cuello del matraz.
6. Extraer la grasa con una pipeta y colocarla en un tubo para centrifuga Gerber.
7. Repetir pasos 4) y 5).
8. Extraer la grasa y adicionarla a la primera extracción.
9. Centrifugar la muestra durante tres minutos en centrífuga Gerber. Si no es posible continuar con el procedimiento el mismo día, la muestra se debe conservar en refrigeración.
10. Colocar el papel filtro en el embudo de vidrio y agregar un poco de sulfato de sodio anhidro (2 g).
11. Colocar el embudo sobre el tubo de ensayo y adicionar la grasa extraída, poner en el horno a 50 °C para su filtración.
12. Terminada la filtración tapar con papel parafilm el tubo de ensayo que contiene la grasa. Guardar la muestra en congelación a -20 °C para los posteriores análisis. La grasa conservada en congelación (-20 °C) podrá usarse hasta en un periodo menor a 24 meses.

**Nota:** Es importante lavar el material antes de usarse en el orden siguiente: jabón y agua corriente (de la llave) y después enjuagar con agua destilada, acetona (grado reactivo), metanol (grado nanogrado) y hexano (grado nanogrado). Secar en estufa a 200 °C.

## 2. EXTRACCIÓN DE LA MATERIA GRASA EN MANTEQUILLA

Al igual que la leche y otros productos lácteos, como crema y yogurt, los análisis de los lípidos contenidos en mantequilla deben llevarse a cabo después de extraer su grasa. El método propuesto se basa en el derretimiento de la mantequilla de acuerdo con su punto de fusión y bajo las pautas establecidas por la Federación Internacional de Lechería (IDF/FIL, 1995) y la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-ZOO-1995). El método es aplicable para otras grasas como margarina, manteca de cerdo y sebo de vacuno.

## **Materiales y equipos para la extracción de la grasa de 50 g de mantequilla**

- 1 Vaso de precipitados de 80 mL
- 1 Espátula
- 2 Tubos de plástico para centrífuga Gerber
- 1 Embudo de vidrio de tallo corto
- 1 Tubo de ensayo de 20 mm x 175 mm
- Papel filtro de velocidad media (Whatman # 2)
- Baño de agua
- Centrífuga Gerber
- Horno graduado a 50-60 °C
- Congelador

## **Reactivos**

- Sulfato de sodio anhidro granular (grado reactivo, Baker)

## **Procedimiento**

1. En un vaso de 80 mL, colocar 50 g de mantequilla.
2. Fundir la mantequilla en baño de agua, hasta la separación de las fases acuosa y lipídica
3. Separar la capa de grasa por decantación y centrifugar durante 5 minutos en la centrífuga Gerber.
4. La grasa obtenida se pasa a través del papel filtro en presencia de sulfato de sodio anhidro (2 g) colocado en el matraz de tallo corto en un horno a 50 °C.
5. Terminada la filtración tapar con papel parafilm el tubo de ensayo que contiene la grasa. Guardar la muestra en congelación a -20 °C para los posteriores análisis. La grasa conservada en congelación (-20 °C) podrá usarse hasta en un periodo menor a 24 meses.

**Nota:** Es importante lavar el material antes de usarse en el orden siguiente: jabón y agua corriente (de la llave) y después enjuagar con agua

destilada, acetona (grado reactivo), metanol (grado nanogrado) y hexano (grado nanogrado). Secar en estufa a 200 °C.

### 3. ANÁLISIS DE ÁCIDOS GRASOS DE LA GRASA LÁCTEA POR CROMATOGRAFÍA DE GASES Y SU APLICACIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE ADULTERACIONES

Desde hace más de cuatro décadas se ha venido informando sobre la composición de ácidos grasos (AG) en la leche, hasta el momento se han identificado más de 400 AG diferentes, sin embargo, menos de 20 son los mayoritarios, el resto de ellos se encuentran en cantidades traza. Además, algunos AG son característicos de la grasa de rumiantes como el butírico (C4:0) y el mirístico (C14:0), lo cual ha sido un punto de partida para proponer opciones de identificación de grasa no láctea (GNL) en grasa láctea (GL). La cromatografía de gases es una de las técnicas más usadas en la identificación y cuantificación de ácidos grasos presentes en diversas grasas comestibles, en el presente método se plantean las condiciones expuestas por Badings y De Jong (1983) y Christie (1992).

#### **Materiales y equipos**

- 1 Vaso de precipitados de 40 mL
- 1 Pipeta de 5 mL
- 1 Pipeta Pasteur
- 1 Propipeta
- 1 Micropipeta de 100 mL
- 1 Microjeringa de 50 mL
- 1 Microjeringa de 5 mL
- 2 Espátulas
- 2 Frascos de 5 mL con tapa de rosca, color ámbar de sellado hermético
- Balanza analítica
- Vortex
- Ultracentrífuga (Beckman)
- Cromatógrafo de gases Perkin Elmer Autosystem 9000. Detector de Ioni-



zación de Flama (FID). Columna polar Restek Stabilwax 30 m x 0.53 mm x 0.50  $\mu\text{m}$  con fase de polietilenglicol (PFG). Temperatura del detector e inyector 250  $^{\circ}\text{C}$ . Programa de temperatura:  $T_1 = 42$   $^{\circ}\text{C}$  durante 3 minutos,  $T_2 = 150$   $^{\circ}\text{C}$  durante 2 minutos con incremento de 20  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  y  $T_3 = 210$   $^{\circ}\text{C}$  durante 3 minutos con incremento de 4  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Gas de arrastre: helio 4 PSI. Volumen de inyección 1 mL. La integración de las áreas se hace con un integrador PE Nelson modelo 1022.

### **Reactivos**

- Éter de petróleo (grado nanogrado, Baxter)
- Solución: metóxido de sodio en metanol 0.5 N (Q. P., Alltech)
- Acido acético (G. R., Baker)
- Cloruro de calcio anhidro (G. R., Baker)
- Estándar de ácidos grasos: Mezcla de 37 ácidos grasos metilados (C4:0 al C22:6n3, Supelco 47885-U)

### **Procedimiento**

#### *Determinación de factores de corrección*

Para determinar el tiempo de retención y el porcentaje de área para cada AG, se inyectan cinco veces, 1  $\mu\text{L}$  de la mezcla estándar de AG. Se calcula el tiempo de retención promedio, el valor mínimo y el máximo. Se determina el área promedio para cada AG y con estos valores se calculan los valores de respuesta dividiendo el porcentaje del área promedio obtenido / el porcentaje del AG en la mezcla estándar. En la Figura 1 se observa un cromatograma del perfil típico de AG.

### **Metilación de ácidos grasos**

1. Pesar 50 mg de grasa láctea en frascos con tapa de rosca de 5 mL, agregar 0.9 mL de éter de petróleo y agitar en vortex durante 5 segundos. Adicionar 100 mL de solución 0.5 N de metóxido de sodio en metanol.
2. Agitar suavemente durante 5 minutos y agregar 5 mL (con microjeringa de 50 mL) de ácido acético. Adicionar 1 g de cloruro de calcio anhidro en polvo.

3. Dejar reposar 1 h, centrifugar la muestra a 2500 rpm (700 x G) durante 2-3 minutos para precipitar el agente deshidratante.
4. Transferir el sobrenadante con pipeta Pasteur a un frasco con tapa de rosca de 5 mL.
5. Inyectar 1 mL en el cromatógrafo de gas-líquido, por duplicado.
6. Identificar los picos de los AG mayoritarios, de acuerdo con los cromatogramas obtenidos del estándar de ácidos grasos utilizado (Figura 1).
7. Registrar los porcentajes de área de los AG mayoritarios y calcular los porcentajes de área normalizados multiplicándolos por los factores de corrección determinados con la mezcla estándar.

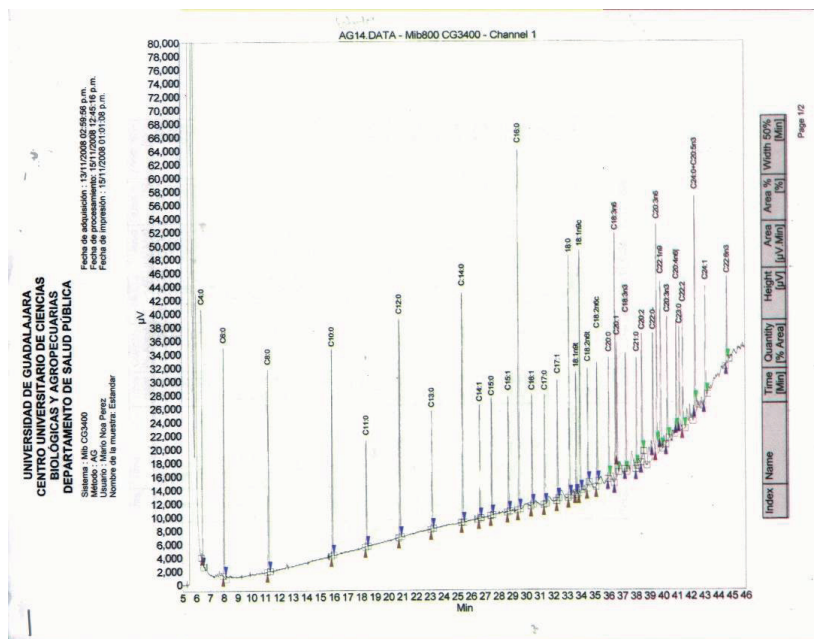


Figura. 1. Perfil cromatográfico de ácidos grasos (ésteres metílicos, mezcla estándar Supelco 47885-U)

### Interpretación de resultados

El perfil de AG es característico de la leche, **sobre todo por la presencia del C4, 16:0 Y C18:1 en cantidades de 3-8, 20-30 Y 17-24 % p/p,**

**respectivamente.** En México cuando se sospecha que existe adulteración en la leche y productos lácteos se requiere obtener el perfil de los AG de las grasas animales con las que se sospecha que son adulterados los productos lácteos. De esta manera la adulteración puede quedar demostrada o descartada (NMX-F-490-NORMEX-1999). Es engorroso diagnosticar adulteración con grasa animal empleando esta metodología.

En los países miembros del MercoSur (MercoSur, 1994) opera un reglamento técnico para la identidad de la grasa láctea muy parecido a lo usado en la Unión Europea, se basa en los cocientes o relaciones de AG característicos de la grasa láctea auténtica, lo cuales han sido expuestos en el ámbito internacional desde hace 30 años. La determinación de adulteración con grasa animal se vislumbra cuando se cumplen las siguientes relaciones de los ácidos grasos:  $C14:0/C18:1 = 0.30$ ,  $C14:0/C12:0 = (3.0 \text{ a } 4.1)$ ,  $C12:0/C10:0 = (0.95 \text{ a } 1.3)$  y  $C10:0/C8:0 = (1.85 \text{ a } 2.3)$ . Para la determinación de la adulteración de la grasa láctea con grasa de origen vegetal se recomienda el método de fitosteroles (NMX-F-707-COFOCALEC-2004).

**Nota:** Es importante lavar el material antes de usarse en el orden siguiente: jabón y agua corriente (de la llave) y después enjuagar con agua destilada, acetona (grado reactivo), metanol (grado nanogrado) y hexano (grado nanogrado). Secar en estufa a 200 °C.

#### 4. ANÁLISIS DE TRIACILGLICÉRIDOS DE LA GRASA LÁCTEA POR CROMATOGRAFÍA DE GASES Y SU APLICACIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE ADULTERACIONES

A partir de la década de los setenta del siglo pasado se ha venido informando en la literatura científica sobre el uso del perfil de triacilgllicéridos (TAG) en la identificación de adiciones de grasa no láctea en grasa láctea (GL). Por ejemplo, Parodi (1973) y Juárez (1983) informaron que algunos cocientes o relaciones de los TAG tienen mayor potencial que los cocientes de AG en la detección de grasa extraña en la GL. Timms (1980) empleó los

resultados del perfil de los TAG de GL pura y modeló por medio de análisis de regresión lineal múltiple (RLM). Con las ecuaciones de regresión obtenidas logró aumentar el porcentaje de confiabilidad en la detección de adulteraciones de la GL. El análisis de RLM también fue usado en Alemania (Precht, 1992a, 1992b), donde se obtuvieron seis ecuaciones específicas para GL pura, logrando detectar grasas extrañas en niveles del 2, 4 y 8% de incorporación con 95% de confianza; cuando la adulteración fue del 15% la detección fue con 99% de confianza.

En consecuencia a estos resultados, la Unión Europea (UE) oficializó la metodología convirtiéndola en un método de referencia para la detección de grasas extrañas en la grasa de la leche mediante el análisis de TAG por cromatografía de gases (CE, 2001).

En este apartado se propone la técnica de análisis de TAG por cromatografía de gases con detector de ionización de flama (Firestone, 1986; Pinto *et al.*, 1987) y algunas ecuaciones encontradas por Gutiérrez *et al.* (2007) para la evaluación de la materia grasa. El análisis de TAG propuesto en este documento tiene aplicabilidad en todas las materias grasas comestibles, la posible complicación sería el método de extracción de la grasa para cada alimento en particular.

### **Materiales y equipos**

- 1 Vaso de precipitados de 80 mL
- 1 Pipeta de 5 mL
- 1 Propipeta
- 1 Espátula
- 1 Frasco de 5 mL con tapa de rosca, color ámbar
- Microjeringa de 10 mL
- Balanza analítica
- Cromatógrafo de gases Perkin Elmer Autosystem 9000 con detector de ionización de flama e integrador de áreas PE Nelson 1022. Condiciones de operación: Temperatura del inyector (split-splitless): 340 °C; Temperatura del detector (DIF): 350 °C; Flujo del gas de arrastre (helio): 1 mL/

min; Programa de temperaturas del horno: Temperatura 1 = 200 °C 0 min, con incremento de 5 °C/min hasta 325 °C. Temperatura 2 = 325 °C 6 min. Tiempo total de corrida 31 minutos. Volumen de inyección: 1 µL. Columna fenil metil silicón al 5%, polaridad intermedia HP5. Longitud de 2 m x 0.25 mm d.i. x 0.25 µm de grosor de capa. Para identificar y cuantificar los TAG se compara los cromatogramas (tiempos de retención y área de los picos) obtenidos de las distintas muestras de grasa con el cromatograma de la mezcla de estándares.

### Reactivos

- Hexano (grado nanogrado, Mallinckrodt)
- Estándar de TAG: 1 ampolleta (100 mg), catálogo 178-11, Sigma (99%). Tricaprilina 20%; tricaprina 20%; trilaurina 20%; trimiristina 20%; tripalmitina 20%.

### Procedimiento

#### *Preparación del estándar y determinación de factores de corrección*

La ampolleta de 100 mg (20 mg de c/u de los 5 triacilglicéridos) se disuelve en 5 mL de n-hexano. Se inyecta cinco veces 1 mL de la solución para determinar el tiempo de retención y el porcentaje de área para cada TAG. Se calcula el tiempo de retención promedio, el mínimo y el máximo. Se calcula el porcentaje de área promedio y se calculan los factores de corrección considerando el factor de respuesta para la trilaurina (C36) como 1.0, y usando la fórmula:

$$f_x = CX / C36 \times A_{C36} / A_{CX}$$

Donde:

$f_x$  = factor de corrección del triacilglicérido x

CX = concentración del triacilglicérido estándar x (mg/mL)

C36 = concentración de trilaurina (mg/mL)

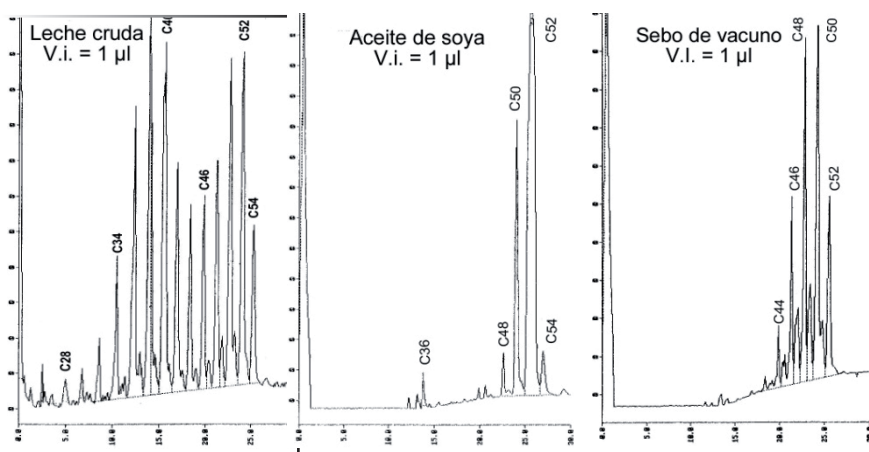
$A_{C36}$  = área de trilaurina

$A_{CX}$  = área del triacilglicérido estándar x

**Observación.** Los factores de corrección no deberán ser mayores de 1.01

*Extracción de triacilglicéridos*

1. Pesar 50 mg de la materia grasa en un frasco de 5 mL con tapa de rosca.
2. Adicionar 2.5 mL de hexano, agitar vigorosamente hasta disolver.
3. Se inyecta 1 mL, por duplicado, en el cromatógrafo de gases
4. Para identificar y cuantificar los TAG es necesario comparar los cromatogramas (tiempos de retención y área de los picos) que se obtengan con las muestras de grasa de leches (cruda, pasteurizada, ultrapasteurizada y en polvo reconstituida), así como los de mantequillas con los cromatogramas de los estándares de TAG. Los porcentajes de TAG que se obtengan se normalizan de acuerdo a los factores de corrección determinados para los estándares tricaprilina, tricaprina, trilaurina, trimiristina y tripalmitina (Sigma 178-11), asumiendo que la trilaurina es recuperada completamente de la columna. En la Figura 2 se presentan tres cromatogramas típicos de TAG presentes en grasa láctea y grasa no láctea.



**Figura 2.** Cromatogramas de triacilglicéridos contenidos en leche cruda, aceite de soya y sebo de vacuno.

### Interpretación de resultados

Los análisis cromatográficos de la grasa láctea auténtica permiten identificar y cuantificar TAG con números de carbono de 28 a 54 (Figura 2). Cuando el perfil de TAG de muestras sospechosas de estar adulterada la grasa láctea no corresponde al comportamiento bimodal del cromatograma,

entonces se podría sospechar de presencia de grasa extraña. El método de fitosteroles (NMX-F-707-COFOCALEC-2004) define de manera confiable si existe grasa de origen vegetal. En el caso que no se detecte grasa de origen vegetal, pero se sospeche que hay grasa ajena a la láctea, entonces se evalúan (sustituyen) los resultados en las ecuaciones de regresión múltiple obtenidas por Gutiérrez et al. (2007) y se verifica que los valores estén dentro de los intervalos correspondientes. Este método permite detectar adulteraciones con grasas de orígenes vegetal y animal con una confianza del 90%.

*Ecuaciones de regresión múltiple e intervalos de confianza (Gutiérrez et al, 2007)*

1. Aceite de pescado:  $Y = 1.71C42 + 11.76C44 - 1.93C46 + 3.13C52 - 0.25C54$ ; (91.46 – 108.51)
2. Aceites de canola y girasol, sebo de vacuno:  $Y = 4.28C38 - 2.18C40 + 2.33C42 + 2.19C44 - 0.03C48 + 2.86C50 - 0.69C52 + 2.20C54$ ; (97.9 – 102.1)
3. Manteca de cerdo:  $Y = 2.41C34 + 1.37C36 - 0.30C38 + 2.67C40 + 3.63C48 - 0.69C50 + 1.70C52 + 0.71C54$ ; (98.4 – 101.6)

**Nota:** Es importante lavar el material antes de usarse en el orden siguiente: jabón y agua corriente (de la llave) y después enjuagar con agua destilada, acetona (grado reactivo), metanol (grado nanogrado) y hexano (grado nanogrado). Secar en estufa a 200 °C.

## 5. DETERMINACIÓN DE ESTEROLES EN GRASA LÁCTEA Y SU APLICACIÓN EN LA DETECCIÓN DE GRASA VEGETAL EN LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS

En varios países es ilegal incorporar grasa no láctea a la leche y productos lácteos. En México la Norma Oficial Mexicana (NOM-155-SCFI-2003, Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba), establece que la leche entera para consumo humano debe con-

tener solo grasa propia de la leche y cumplir con las especificaciones de su denominación. Sin embargo, en algunos productos lácteos es posible adicionar GNL de origen vegetal, si se especifica en la información de la etiqueta; de lo contrario se considera adulteración. La presencia de GNL de origen vegetal se detecta por análisis de los fitosteroles ( $\beta$ -sitosterol, campesterol, stigmasterol, brassicasterol), hasta 1% de concentración con un nivel de confianza mayor a 95%.

El método propuesto en este capítulo se basa en la Norma NMX-F-707-COFOCALEC-2004. Sin embargo, se ofrece otro método con la intención de informar que existe otra opción en la identificación de grasa vegetal en leche y sus derivados, el analista decidirá cuál empleará de acuerdo con el dominio de la instrumentación, así como del costo de análisis en cada uno de ellos; los autores del presente trabajo recomiendan el método 28.052 AOAC, 1980.

De manera similar a la técnica de análisis de TAG antes descrita, el análisis de esteroides propuesto en este documento tiene aplicabilidad en todas las materias grasas comestibles, la posible complicación sería el método de extracción de la grasa para cada alimento en particular.

#### **A) MÉTODO BASADO EN NMX-F-707-COFOCALEC-2004.**

##### **PRODUCTOS PRECIPITABLES BAJO LA FORMA DE DIGITÓNIDOS**

#### **Objetivo**

Detectar grasa vegetal en la grasa de leche por cromatografía en fase gaseosa de los esteroides. El límite de la detección depende del contenido en beta-sitosterol de la grasa vegetal agregada.

#### **Principio del método**

El contenido de esteroides es determinado gravimétricamente después de la saponificación de la materia grasa y la precipitación de los esteroides por adición de una solución alcohólica de digitonina a la solución de jabón.



Para la determinación de esteroides específicos en la muestra, se disuelve el digitonido de esteroide en una mezcla de formamida y dimetilformamida. Los esteroides liberados son extraídos con pentano y analizados por cromatografía de gases, usando estándares de colesterol y fitosteroides. Si en el cromatograma se obtiene un pico con tiempo de retención del beta-sitosterol, la presencia de grasa vegetal queda demostrada. La presencia de otros picos de fitosteroides reforzará esta conclusión.

### **Materiales y equipos**

- 1 Matraz Erlenmeyer con cuello esmerilado de 250 mL
- 1 Probeta de 100 mL
- 3 Probetas de 50 mL
- 1 Probeta de 25 mL
- 1 Vaso de precipitados de 2000 mL
- 3 Vasos de precipitados de 100 mL
- 1 Vidrio de reloj
- 1 Termómetro
- 1 Embudo Buchner  $\varnothing$  8 cm
- 2 Pipetas de 10 mL
- 1 Pipeta de 5 mL
- 1 Pipeta de 1 mL
- 2 Pipetas Pasteur
- 1 Propipeta
- 1 Espátula
- 1 Frasco de 10 mL con tapa de rosca, color ámbar
- 3 Frascos de 5 mL con tapa de rosca, color ámbar
- Microjeringa de 10 mL
- Sistema refrigerante con parrilla múltiple de calentamiento
- Refrigerador graduado a  $-5^{\circ}\text{C}$
- Sistema extracción con bomba de vacío
- Horno graduado a  $200^{\circ}\text{C}$
- Parrilla de calentamiento

- Balanza analítica
- Cromatógrafo de gases Perkin Elmer Autosystem 9000, con columna: Rtx 15 m x 0.53 mm, diámetro interno: 1  $\mu\text{m}$ ; polímero estable a 360  $^{\circ}\text{C}$ , catálogo N 10152. Detector de ionización de flama. Gas de arrastre: helio a 4 PSI. Condiciones: detector: 320  $^{\circ}\text{C}$ ; inyector: 320  $^{\circ}\text{C}$ ; horno:  $T_1 = 100$   $^{\circ}\text{C}$ ,  $T_2 = 285$  (14 min) con incremento de 30  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ; atenuación: 4, rango 1; volumen de inyección: 1 mL

### Reactivos

- Solución de hidróxido de potasio (disolver 200 g de KOH -G. R. (Baker)- en 600 g de agua destilada)
- Etanol (95-96% v/v, grado reactivo, Baker)
- Solución de digitonina. Disolver 1 g de digitonina -Q. P., Merck 99%- en 100 mL de etanol (95-96% v/v).
- Éter dietílico (G. R., Baxter)
- Pentano (grado cromatográfico, Baxter)
- Mezcla de formamida y dimetilformamida 1:1 v/v (grado reactivo, Baker)
- Estándares de esteroides: Colesterol 5 g catálogo C-5667. Sigma. Pureza 99% para cromatografía. Campesterol 5 mg catálogo C-5157. Sigma. Proveniente de semilla de soya aproximadamente 65%. Stigmasterol 1 g catálogo S-6126. Sigma. Pureza 96% (CG). Beta-sitosterol 5 mg catálogo S9889. Sigma. Proveniente de semilla de soya. Pureza 98.3% (CG).

### Procedimiento

#### Primera parte: Obtención de los digitónidos de esteroides

1. Pesar en un matraz Erlenmeyer de 250 mL con cuello esmerilado, 7.5 g de la materia grasa por analizar (mantequilla, grasa de leche, etc.) lo más cerca a 100 mg.
2. Agregar 5 mL de la solución de hidróxido de potasio y 10 mL de etanol (95-96% v/v).
3. Conectar el matraz Erlenmeyer al sistema refrigerante con parrilla de

calentamiento, calentar a ebullición hasta que la solución se ponga clara, mantener la ebullición por 30 minutos más.

4. Añadir 30 mL de agua destilada y después 90 mL de etanol (95-96% v/v), calentar a 40 °C aproximadamente.
5. Adicionar 15 mL de la solución alcohólica de digitonina (1%); agitar y dejar enfriar. Colocar el matraz en el refrigerador a 5 °C durante 12 horas o toda la noche.
6. Recuperar el precipitado del digitónido de esterol por filtración sobre un papel filtro de velocidad media (colocado en un embudo Buchner de  $\text{Æ}$  8 cm).
7. Lavar el precipitado con agua destilada a 5 °C, hasta que el filtrado no de más espuma; a continuación se lava una vez con 25-30 mL de etanol (95-96% v/v) y finalmente una vez con 25-30 mL de éter dietílico.
8. Poner el papel filtro con el precipitado en un vidrio de reloj y secar en un horno graduado a  $102 \pm 2$  °C durante 15 minutos.
9. Plegar en dos el papel filtro de modo de permitir separarse al precipitado en forma de película, transferir el precipitado a un frasco de 10 mL con tapa de rosca. Guardar a temperatura ambiente.

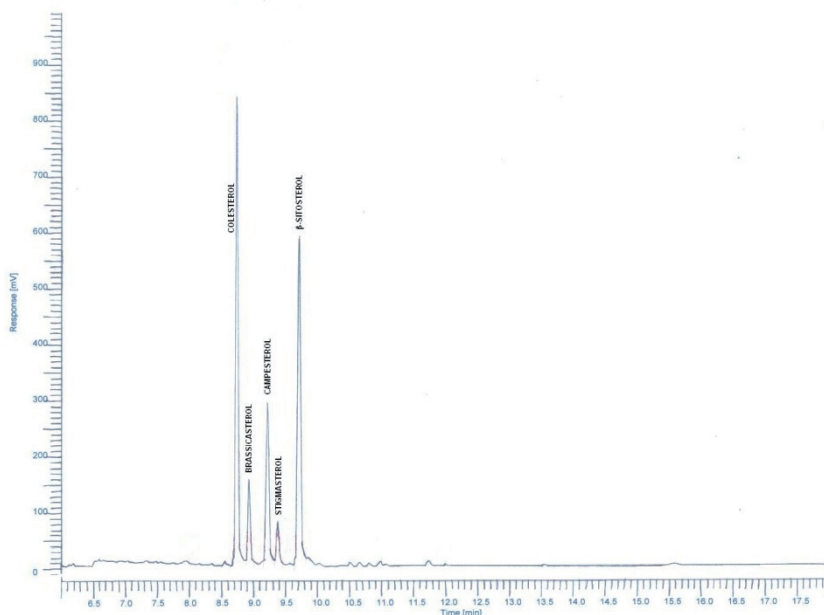
## **Segunda parte: Cromatografía de gases**

### **Preparación de la solución estándar**

Cada esterol se prepara a una concentración de 1 mg/mL en n-pentano y se inyecta 1 mL. Los estándares se inyectan primero individualmente para determinar los tiempos de retención y luego se prepara una mezcla en partes iguales y se reduce el volumen a 1 mL. Se inyecta 1 mL, el cromatograma debe definir los cinco esteroides (colesterol, brassicasterol, campesterol, estigmasterol y beta-sitosterol (Figura 3).

### **Separación de los esteroides del digitónido**

1. En un frasco de 5 mL con tapa de rosca disolver cerca de 10 mg de digitónido de esterol en 0.5 mL de una mezcla por partes iguales de forma-



**Figura 3.** Cromatograma del estándar de esterol (colesterol, brassicasterol, campesterol, estigmasterol y beta-sitosterol, volumen de inyección: 1  $\mu$ L)

mida y dimetilformamida, calentar a 50 °C. Después de enfriar, agregar 2.5 mL de n-pentano y agitar vigorosamente. Dejar reposar: cuando la separación de las dos capas sea nítida, extraer la capa superior que contiene los esterol liberados de los digitónidos y utilizar esta solución para el análisis cromatográfico. Se inyecta 1 mL al cromatógrafo de gases, por duplicado.

2. Identificar los esterol presentes de acuerdo al tiempo de retención de los picos que aparecen en los cromatogramas de los estándares de esterol utilizados.
3. Si aparecen uno o más picos de fitosterol la muestra se considera adicionada de grasa vegetal.

**Nota:** Es importante lavar el material antes de usarse en el orden siguiente: jabón y agua corriente (de la llave) y después enjuagar con agua

destilada, acetona (grado reactivo), metanol (grado nanogrado) y hexano (grado nanogrado). Secar en estufa a 200 °C.

**B) MÉTODO BASADO EN 28.052 AOAC, 1980. EXTRACCIÓN POR  
DISOLVENTES DE MATERIAS INSAPONIFICABLES EN GRASA LÁCTEA**

**Materiales y equipos para la extracción de una muestra**

- 1 Matraz Erlenmeyer con cuello esmerilado de 250 mL
- 1 Probeta de 1000 mL
- 1 Embudo de separación de 1000 mL con llave de teflón
- 1 Embudo de vidrio de tallo corto
- 1 Frasco de 5 mL con tapa de rosca, color ámbar
- 2 Pipetas de 10 mL
- 1 Vaso de precipitados de 200 mL
- 1 Barra magnética de 2 cm de longitud
- 1 Propipeta
- 2 Espátulas
- Papel filtro de velocidad media (Whatman # 2)
- Balanza analítica
- Parrilla de calentamiento con agitación magnética
- Sistema refrigerante con parrilla múltiple de calentamiento

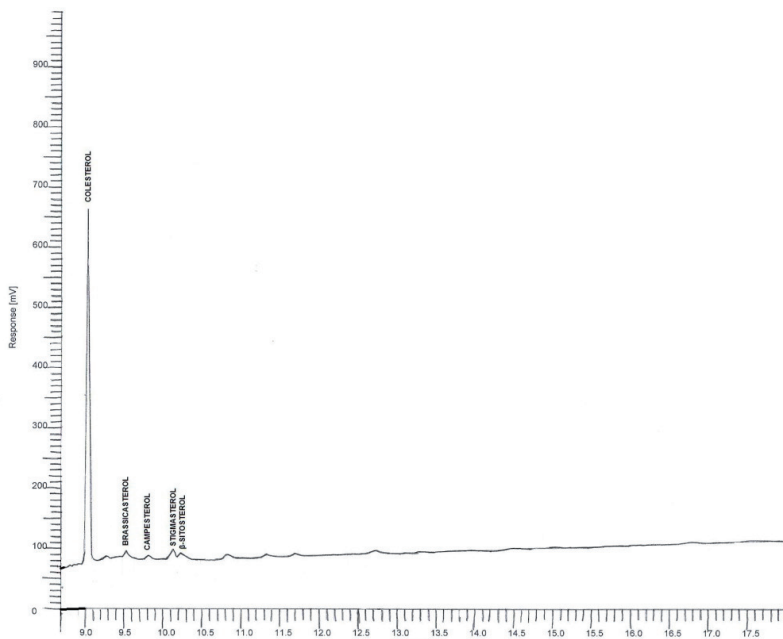
**Reactivos**

- Hidróxido de potasio en metanol al 5%. Pesar 5 g de KOH (G. R., Baker) y disolverlo en 95 g de metanol (G. R., Merck).
- Éter de petróleo (grado nanogrado, Mallinckrodt)
- 2,2-4 Trimetil-pentano (isooctano) (grado nanogrado, Mallinckrodt)
- Sulfato de sodio anhidro granular (G. R., Baker)
- Agua destilada

## Procedimiento

1. Pesar 7.5 g de muestra (grasa láctea) en un matraz Erlenmeyer con cuello esmerilado de 250 mL, calentar hasta fusión de grasa.
2. Agregar 75 mL de potasa metanólica al 5% y calentar a ebullición (80 °C aproximadamente) en reflujo hasta que la solución se ponga clara, proseguir la ebullición durante media hora más.
3. Dejar enfriar y pasar la solución a un embudo de separación de 1000 mL con llave de teflón.
4. Agregar 60 mL de éter de petróleo y agitar vigorosamente durante 5 minutos.
5. Extraer la parte de éter de petróleo y colocarla en un vaso de precipitados de 80 mL.
6. Hacer una segunda extracción con 50 mL de éter de petróleo.
7. Combinar los extractos etéreos y lavar con agua destilada hasta que no salga más espuma.
8. Filtrar el extracto etéreo sobre un papel filtro (Whatman # 2) en presencia de sulfato de sodio anhidro y llevar a sequedad.
9. Recuperar con 3-4 mL de cloroformo. Concentrar a 2 mL e inyectar 1 mL al cromatógrafo de gases, por duplicado. En la Figura 4 se aprecia un cromatograma obtenido por este método en una muestra de leche de vaca, aun cuando el cromatograma presenta una gran cantidad de picos, en la región donde aparecen los esteroides no se visualizan picos que pudieran interferir con los esteroides.
10. Identificar los esteroides presentes de acuerdo al tiempo de retención de los picos que aparecen en los cromatogramas de los estándares de esteroides utilizados.
11. Si aparecen uno o más picos de fitosteroides la muestra se considera adicionada de grasa vegetal.

**Nota:** Es importante lavar el material antes de usarse en el orden siguiente: jabón y agua corriente (de la llave) y después enjuagar con agua destilada,



**Figura 4.** Cromatograma típico de esteroides presentes en leche de vaca (volumen de inyección: 1  $\mu$ L)

acetona (grado reactivo), metanol (grado nanogrado) y hexano (grado nanogrado). Secar en estufa a 200  $^{\circ}$ C.

## 6. ANÁLISIS DEL GLICOMACROPÉPTIDO DE SUERO DE QUESERÍA EN LECHE FLUIDA POR ELECTROFORESIS EN GEL DE POLIACRILAMIDA-DODECIL SULFATO DE SODIO (PAGE-SDS)

El suero de quesería en polvo es uno de los derivados lácteos que se importa a México en grandes volúmenes, por ejemplo, durante 1990 México importó 20,202 toneladas (Urbán *et al.*, 2002), en 1997 se incrementó la importación a 53,237 y en el 2006 llegó a 72,427 (SIC-M/Secretaría de Economía, 2006). Con la intención de aumentar los sólidos en la leche fluida y en polvo, algunos industriales de la leche lo adicionan para elevar sus

ganancias. Sin embargo, la NOM-155-SCFI-2003 estipula que su incorporación a estos productos es una adulteración y/o fraude si no se especifica en la etiqueta. Por lo anterior, se han desarrollado métodos diversos a nivel global para detectar la adulteración de la leche y sus derivados con suero de quesería, uno de ellos consiste en determinar la presencia de una proteína característica del suero, el glicomacropéptido (GMP). El método aquí descrito se basa en la técnica de Olieman y Van Den Bedem (1983) y se fundamenta en la obtención de la proteína sérica de la leche por precipitación de la caseína a pH 4.6 con ácido acético, para ser tratada por la técnica de electroforesis en geles de poliacrilamida.

### **Materiales y equipos para la extracción de una muestra**

- 2 Vasos de precipitados de 80 mL
- 1 Probeta de 50 mL
- Papel filtro de velocidad media (Whatman # 5)
- 2 Tubos de vidrio para centrífuga de 30 mL
- 2 Tubos de microensayos
- 1 Embudo de vidrio de tallo corto
- 2 Pipetas de 10 mL
- 1 Vaso de precipitados de 200 mL
- 1 Barra magnética de 2 cm de longitud
- 1 Propipeta
- 2 Espátulas
- Papel filtro de velocidad media (Whatman # 2)
- Balanza analítica
- Parrilla de calentamiento con agitación magnética

### **Reactivos**

- Leche cruda auténtica se usa como control negativo
- Suero de quesería en polvo (WPC 34) (James Farrel México, S. de R.L. de C.V.) se emplea para como control positivo
- Ácido trifluoroacético (TCA, J.T. Baker 0414-01)



- Solución de ácido tricloroacético (TCA 24%)
- Solución de ácido tricloroacético (TCA 50%)
- Solución amortiguadora TRIS-glicina pH 8.3
- Acrilamida al 30%/BIS Acrilamida 0.8% (BIO-RAD cat. 161-0716)
- Hidroximetil-aminoetano (TRIS) TRIS-HCl 1.5 M, pH 8.8 (BIO-RAD cat. 161-0716)
- Dodecil sulfato de sodio (SDS) 10% (BIO-RAD cat. 161-0301)
- Solución amortiguadora 0.05 M TRIS-HCl + 1 mM EDTA- $\text{Na}_2$ , pH 7.2
- Sacarosa 50% + Azul de bromofenol 0.002%
- Azul de Coomassie R-250 (BIO-RAD, cat. 161-0400)
- Persulfato de amonio (PAS) (BIO-RAD, cat. 161-0700)
- N, N, N, N tetrametil-etilen diamino (TEMED) (BIO-RAD, cat. 161-0800)
- Ácido etilendiamino-tetracético (EDTA)
- Concentrado de proteínas de suero de quesería

### **Equipos**

- Equipo “Mini Protean II Stab Cell de la marca BIO-RAD (Bio-Rad Laboratories), California 94547, USA)
- Fuente de poder LKB modelo 2197
- Separadores de 1.5 mm
- Peinetas de 10 pozos
- Ultracentrífuga con refrigeración Sorvall RC-5B, Du Pont Instruments, Sorvall Instruments

### **Procedimiento**

1. En un vaso de precipitados de 80 mL se colocan volúmenes de 25 mL de leche cruda y suero (WPC 34), control negativo y control positivo se les agrega lentamente 12.5 mL de solución TCA 24% bajo agitación constante, la incorporación se realiza en un minuto aproximadamente.
2. Después de permanecer en reposo durante 90 minutos a temperatura ambiente (25 °C), el precipitado de caseína se retira por filtración en papel filtro de velocidad media (Whatman No. 5).

3. Una alícuota de 15 mL del filtrado (TCA 8%) se transfiere a un tubo de centrífuga (30 mL) y, se trata con TCA 50%. Permanece en reposo a baja temperatura (4-6 °C) por 2 horas y posteriormente se centrifuga a 700 x G durante 10 minutos
4. El precipitado se lava con una solución etanol-éter (1:1), seguida de otra centrifugación como en el paso 3.
5. El precipitado se recupera por resuspensión en solución amortiguadora 0.05 M TRIS-HCl + 1 mM EDTA-Na<sub>2</sub>, pH 7.2. Se transfiere a tubos de microensayos, los cuales deben tener solución de sacarosa al 50% conteniendo 0.002% de azul de bromofenol.

### **Condiciones de análisis por electroforesis**

*Composición del gel.* Se utiliza una solución al 15% (p/v) de concentración con acrilamida y N-N' metilen bis acrilamida (0.8%) en un amortiguador TRIS-HCl 1.5 M pH 8.8 a la cual se le adiciona dodecil sulfato de sodio (SDS) en concentración de 1%.

*Electroforesis.* Se realiza en un equipo Mini Protean II Slam Cell (BIO-RAD, Bio-Rad Laboratories, California 94547, USA), con una fuente de poder LKB modelo 2197. Las placas de corrimiento se elaboran con separadores de 1.5 mm, usando peinetas de 10 pozos. Las muestras se cargan en húmedo depositando 50 µL de cada una. La corrida electroforética se efectúa a 200 volts con un miliamperaje de 85-100. Se usa como amortiguador TRIS-glicina pH 8.3. El tiempo de la electroforesis es de 40 minutos.

*Fijación, teñido y desteñido.* Los geles se tratan durante 24 horas en solución fijadora (250 mL de isopropanol, 100 mL de ácido acético glacial y 650 mL de agua destilada). El teñido se efectúa con una solución de azul de Coomassie (0.3 g), metanol (50 mL), ácido acético glacial (10 mL) y agua (100 mL). La tinción se realiza por 90 minutos a temperatura ambiente. A continuación los geles se lavan con agua destilada y se tratan con solución de desteñido metanol, ácido acético glacial, agua (6:1:14) hasta obtener un contraste nítido. Los geles se conservan en ácido acético al 7%.

*Cálculo de concentración.* La concentración GMP se calcula con el programa SYNGENE GEL VUE, mod. GVM20. Rating 115 V-2ª 50 Hz. Fuse: 3.15 A HRC Typer. Este programa mide el área de la banda del GMP.

**Nota:** Cuando hay presencia del GMP en muestras de productos lácteos (leches pasteurizada, ultrapasteurizada, otros), la adulteración con suero de quesería queda demostrada. Con el cálculo de concentración se podrá saber cuánto GMP fue adicionado.

## 7. ANÁLISIS DEL GLICOMACROPÉPTIDO POR CROMATOGRFÍA DE LÍQUIDOS DE ALTA RESOLUCIÓN (HPLC)

Este método de análisis se basa en la precipitación de la caseína con ácido tricloroacético (TCA) y una precipitación selectiva del GMP siguiendo el mismo procedimiento realizado para electroforesis. Todas las muestras precipitadas se resuspenden en 1 mL de amortiguador, se filtran por membrana Millipore y se inyectan 50 mL al equipo de cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés).

### **Materiales y equipos para la extracción de una muestra**

- 2 Vasos de precipitados de 80 mL
- 1 Probeta de 50 mL
- Papel filtro de velocidad media (Whatman # 5)
- 2 Tubos de vidrio para centrifuga de 30 mL
- 2 Tubos de microensayos
- 1 Embudo de vidrio de tallo corto
- 2 Pipetas de 10 mL
- 1 Vaso de precipitados de 200 mL
- 1 Barra magnética de 2 cm de longitud
- 1 Propipeta
- 2 Espátulas
- Papel filtro de velocidad media (Whatman # 2)

- Balanza analítica
- Parrilla de calentamiento con agitación magnética

### **Reactivos**

- Ácido tricloroacético (TCA, J.T. Baker 0414-01)
- Solución de ácido tricloroacético (TCA 24%)
- Solución de ácido tricloroacético (TCA 50%)
- Agua desionizada
- Agua grado HPLC
- Fase móvil: Fosfato de potasio monobásico 90 mM + fosfato de potasio dibásico 10 mM + sulfato de sodio 150 mM preparada con agua grado HPLC. Adicionalmente la fase móvil se filtra por membrana de 0.2  $\mu\text{m}$  de acetato de celulosa (Millipore)
- Suero de quesería en polvo (WPC 34) (James Farrel México, S. de R.L. de C.V.) constituye el control positivo

### **Equipos**

- Cromatógrafo de líquidos de alta resolución (Marca Merck-Hitachi con bomba isocrática, inyector con un circuito en espiral (loop) de hasta 200 mL y detector UV a 210 nm).
- Columna TSK-GEL, 7.5 mm x 30 cm, tamaño de partícula: 10  $\mu\text{m}$ . Guarda columna TSK-GEL SW de dimensiones: 7.5 mm de diámetro interno x 7.5 cm de longitud.
- Ultracentrífuga refrigerada Sorvall RC-5B, Du Pont Instruments, Sorvall Instruments.

### **Preparación de los estándares**

Muestra control negativo: Leche entera cruda.

Muestra control positiva: Se prepara una solución de suero de quesería en polvo al 3%, de esta solución se pipetea (transfieren) a matraces volumétricos de 100 mL las siguientes cantidades: 0.5, 1, 3 y 5 mL, se aforan a 100 mL con leche control negativo y se procesan junto con las muestras problema.

### **Procedimiento**

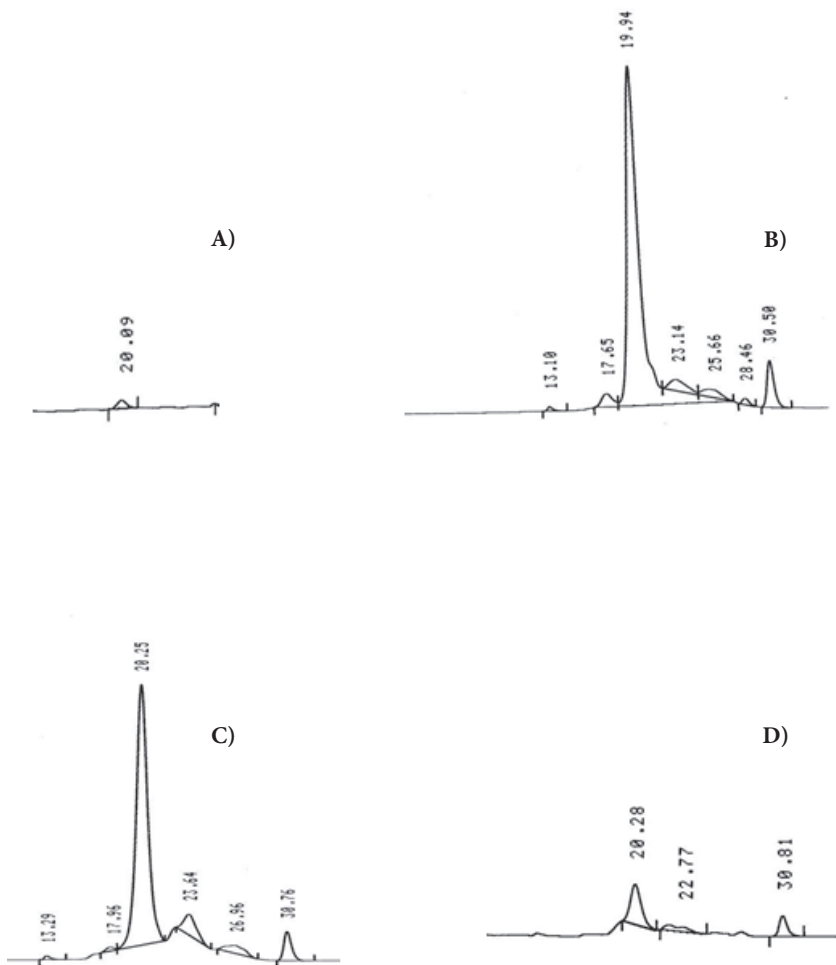
1. A 25 mL de leche cruda se le adicionan 12.5 mL de solución de TCA al 24% bajo agitación constante en un tiempo de 2 minutos.
2. La solución se deja reposar durante 60 minutos a 25 °C y seguidamente se elimina el precipitado mediante filtración por gravedad (papel filtro Whatman No. 5).
3. Se toman 15 mL del filtrado y se transfieren a un tubo para centrífuga. Se adicionan 4 mL de TCA al 50% y se deja reposar la mezcla durante una hora a temperatura de 4-6 °C.
4. Después se centrifuga a 7000 x G por 10 minutos. El precipitado se lava con 10 mL de una solución de etanol-éter (1:1, v/v) seguido de una nueva centrifugación en condiciones similares.
5. Se suspende otra vez el precipitado recuperado en 1 mL de amortiguador y se filtra por membrana Millipore.
6. Se inyectan 50 µL al equipo de cromatografía de líquidos de alta resolución.

### **Condiciones cromatográficas**

Se utiliza un programa isocrático con la composición correspondiente a la fase móvil: fosfato de potasio monobásico 90 mM + fosfato de potasio dibásico 10 mM + sulfato de sodio 150 mM, preparada con agua grado HPLC. Una columna TSK-GEL G2000 SW de filtración por gel de 7.5 mm x 30 cm, con tamaño de partícula de 10 µm; guarda columna de dimensiones: 7.5 mm (DI) x 7.5 cm. Flujo de fase móvil: 0.5 mL/min. Longitud de onda de detección: 210 nm. Se aplican primero las muestras controles para comprobar los tiempos de retención y ajustar la sensibilidad del equipo.

### **Cálculo de la concentración e interpretación de los resultados**

La presencia de un pico en el cromatograma de la muestra con tiempo de retención ( $t = 20$  min) correspondiente al GMP es indicativo de su positividad a la adición de suero de quesería. La concentración de los residuos se calcula por el método del estándar externo utilizando la curva estándar de



**Figura 5.** Cromatogramas de: A) leche cruda (control negativo, B) leche cruda adicionada con 3% de suero de quesería en polvo (control, positivo), C) leche ultrapasteurizada de industria 1 y D) leche ultrapasteurizada de industria 2.

calibración. En la Figura 5 se observan algunos cromatogramas de muestras positivas y control negativo.

#### 8. ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN PROTEÍNA DE SUERO Y LA PROTEÍNA TOTAL USANDO LA CUARTA DERIVADA DEL ESPECTRO DE ABSORCIÓN EN EL ULTRAVIOLETA (UV-4<sup>a</sup>-DS) Y SU APLICACIÓN EN LA DETECCIÓN DE ADULTERACIÓN DE LA LECHE

En México, la adulteración con proteínas de suero en leche fluida es causa de pérdidas económicas tanto para productores nacionales como para industriales que elaboran sus productos a partir de leche cruda. Por lo anterior, se han desarrollado varios métodos para detectar y estimar la presencia de suero en leche, diferenciándose por la sensibilidad y complejidad de los equipos utilizados. Algunos métodos propuestos están basados en la determinación del caseinomacropéptido liberado de la k-caseína por acción del cuajo mediante la separación por electroforesis en gel de poliacrilamida (Pinto *et al.*, 1991; Urbán *et al.*, 1998) y por cromatografía de líquidos de alta resolución (Benitez *et al.*, 2001). En la actualidad, los métodos químicos están siendo reemplazados por métodos espectroscópicos que pueden detectar cualquier tipo de lactosuero mediante la determinación de la relación proteína del suero/proteína total de la leche. Por ello se ha propuesto el empleo de la cuarta derivada del espectro de absorbancia para la determinación rápida de proteína de suero y caseína en la proteína total de la leche (Meisel, 1995 y Miralles *et al.*, 2000). La leche contiene sustancias orgánicas como los aminoácidos aromáticos tirosina (Tyr) y triptófano (Trp) que son la causa de las bandas de absorción características por debajo de 380 nm de la región ultravioleta del espectro. Esta propiedad permite valorar a las proteínas por espectrofotometría en la zona ultravioleta por lo que se ha propuesto la determinación de la relación proteínas de suero/caseínas que se encuentra de forma natural en la leche y basada en la absorción de los aminoácidos triptofano (Trp) y tirosina (Tyr), que tienen máximos y mínimos característicos diferenciados en la 4<sup>a</sup>

derivada del espectro (Meisel, 1995). La relación proteína de suero/proteína total (PS/PT) es una variable importante para la evaluación tecnológica de leche y productos lácteos, pudiendo probar las adiciones de proteína con carácter fraudulento.

### **Reactivos**

- Compuestos modelo: N-acetil ésteres de triptófano (Aldrich, 857726), tirosina y fenilalanina (Sigma, St. Louis, MO, USA, A-6751 y A-4251 respectivamente)
- Mezclas de calibración: caseína estándar (Sigma, C-5890)  
Seroalbúmina bovina (SA) (Sigma, B-4287)  
 $\alpha$ -Lactoalbúmina ( $\alpha$ -La) (Sigma, L-6385)  
 $\beta$ -Lactoalbúmina ( $\beta$ -Lg) (Sigma, L-2506)
- Muestras de referencia: mezclas de proteína de leche con una relación de proteínas de suero y proteínas totales conocidas (NISECAS 0, 15, 20, 25 y 100%) (NIZO, Ede, The Netherlands)
- Acetato de sodio (J.T. Baker, 3460-01)
- HCl-guanidina (clorhidrato de guanadina) (Aldrich, 177253)
- Hidróxido de sodio 0.1 M, ajustado a pH 6.12 (J.T. Baker 3722-01)

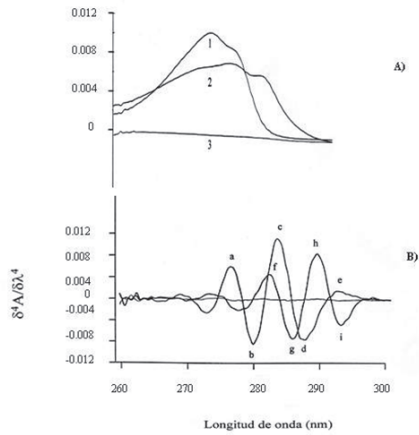
### **Equipos**

- Espectrofotómetro Beckman DU Series 600
- Baño ultrasónico, capacidad 1 L, Mettler Electronics Corp.

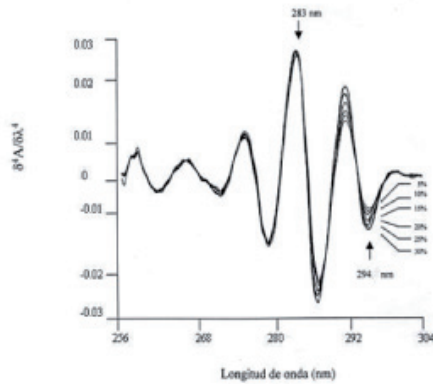
### **Preparación de las muestras**

En viales de 5 mL con tapa de sellado hermético y color ámbar se colocan 30  $\mu$ L de las muestras de leche problema (puede ser leche descremada ultrapasteurizada, UHT), muestras de referencia y mezclas de calibración y se diluyen con HCl-guanidina (6 M) e hidróxido de sodio (0.1 M, pH 6.12). Los viales se ponen en un baño de ultrasonido por 20 minutos e inmediatamente después se mide su espectro de absorción. Todas las muestras se analizan por duplicado. Se calcula la 4ª derivada de los espectros de absor-





**Figura 6.** Espectro UV de los N-acetil ésteres de Trp (0.105 mM), Tyr (0.5 mM) y Phe (1.05 mM). A) Orden 0. B) Orden 4. Máximos de N-acetil éster de Tyr, a: 276 nm, b: 282 nm, E: 293 nm; mínimos del N-acetil éster de Tyr b: 278 nm, d: 287 nm; máximos del N-acetil éster de Trp f: 283 nm, h: 289 nm; mínimos del N-acetil éster de Trp g: 285 nm, i: 294 nm (Fuente: Miralles, 2001).



**Figura 7.** Espectros de absorción de la cuarta derivada de mezclas caseínas y proteínas de suero con una relación PS/PT de 5, 10, 15, 20, 25 y 30% (Fuente: Miralles, 2001).

ción empleando el software del espectrofotómetro. Se registran los valores absolutos de  $d^4A/dl^4$  a las longitudes de onda ( $l$ ) correspondientes a los diferentes máximos y mínimos.

## **Condiciones de medición de la derivada del espectro de absorbancia en el UV**

Las condiciones de medición de la derivada del espectro de absorbancia en el UV y la preparación de las muestras se basan en los estudios de Meisel (1995) y Miralles (2000) con diferencias menores de respuesta en las absorbancias. Los espectros de absorción de las muestras de referencia y de leche UHT se registran y se determina la cuarta derivada entre 250 y 310 nm, velocidad de 1200 nm min<sup>-1</sup>, empleando el espectrofotómetro DUâ-600. Se registran los valores absolutos  $d^4A/d\lambda^4$  a las **LONGITUDES DE ONDA** l correspondientes a los diferentes máximos y mínimos. El cociente  $(d^4A/d\lambda^4_{294}) / (d^4A/d\lambda^4_{283}) \times 100$  se correlaciona con la relación de PS/PT utilizando una recta de calibrado que se obtiene mediante las muestras de referencia NISECAS. En la Figura 6 se presenta el espectro de absorción ultravioleta de los N-acetil ésteres de Trp, Tyr y Phe y en la Figura 7 se observan los espectros de absorción de la cuarta derivada de mezclas caseínas y proteínas de suero con una relación proteínas del suero/proteínas totales (PS/PT) de 5, 10, 15, 20, 25 y 30%.

## **Características analíticas del método**

Previamente a la aplicación de la UV-4<sup>a</sup> DS para la determinación de la relación PS/PT en las muestras de leche sospechosas de estar adulteradas con suero de quesería se lleva a cabo la validación del método. Se estiman las características mínimas para su validación: linealidad de respuesta por análisis de regresión lineal, repetibilidad y reproducibilidad mediante la desviación estándar relativa.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Badings T.F. y De Jong C. (1983). "Glass capillary gas chromatography of fatty acid methyl ester. A study of condition for the quantitative analysis of short and long-chain fatty acid in Lipid". En: *J. of Chromatography*, 279: 493-506.
- Benítez E., Ponce Pm. y Noa M. (2001). "Detección de suero de quesería en leche en polvo por HPLC de filtración por gel (GFC-HPLC)". En: *Rev Salud Anim*, 23: 27-31.

- CE (2001). "Comunidades Europeas. Métodos que deben utilizarse para el análisis y evaluación de la calidad de la leche y de los productos lácteos. Reglamento (CE) No. 213/2001". En: *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* No. L.037 del 07/02/01.
- Christie W.W. (1992). "Gas chromatography and lipids. A practical guide". The oily press ltd. *Agr. Scotland*, pp 72.
- De la Fuente M.A. y Juárez M. (2005). "Authenticity assessment of dairy products". En: *Critical and Reviews in Food Science and Nutrition*, 45: 563-585.
- Firestone P. (1986). "Triglycerides in fats and oils gas chromatography method, I.U.P.A.C.-A.O.A.C.method". En: *J. As. Anal. Chem.*, 69(2): 346-365.
- Frank R., Smith E.H., Holdrinet M. y McWade J.W. (1975). "Organochlorine Insecticides and Industrial Pollutants in the Milk Supply of the Southern Region of Ontario, Canada". En: *J. Milk Food Technol.*, 38(2): 65-72.
- Gutiérrez R., Vega S., Díaz G., Delgadillo H.H., Urbán G., Ramírez A., González C. y Méndez I. (2007). "Detección de grasa extraña en grasa láctea por cromatografía de gases y estadística multivariable". En: *Agrociencia*, 41: 733-742.
- IDF/FIL (1995). International Dairy Federation/ Federación Internacional de Lechería. Milk and milk products. Guidance sampling. FIL-IDF Standard 50C. Brussels, Belgium.
- Juárez M. (1983). "Aplicaciones de las técnicas cromatográficas al control de calidad de los productos lácteos". En: *Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment.*, 23(4): 467-485.
- Meisel H. (1995). "Application of fourth derivative spectroscopy to quantitation of whey protein and casein in total milk protein". En: *Milchwissenschaft*, 50: 247-251.
- Mercosur, Resolución No. 18/92, Grupo Mercado Común. Reglamento Técnico Mercosur de identidad de grasa láctea. 2p.
- Miralles B., Bartolomé B., Ramos M. y Amigo L. (2000). "Determination of whey protein to total protein ratio in UHT milk using fourth derivative spectroscopy". En: *International Dairy Journal*, 10: 191-197.
- Miralles B. (2001). Detección de caseinato y suero de leche en productos lácteos mediante técnicas electroforéticas, cromatográficas y espectroscópicas (tesis doctoral). Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- NMX-F-490-NORMEX-1999. Alimentos-aceites y grasas-Determinación de la composición de ácidos grasos a partir del C6 por cromatografía de gases. México, 1999.
- NMX-F-707-COFOCALEC-2004. Sistema producto leche-Determinación de fitosteroles en leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado, queso, crema y mantequilla, por cromatografía de gases-Método de prueba. México. 14 pp.

- NOM-021-ZOO-1995. Análisis de residuos de plaguicidas organoclorados y bifenilos policlorados en grasa de bovinos, equinos, porcinos, ovinos y aves por cromatografía de gases. Norma Oficial Mexicana. México. 1995.
- NOM-155-SCFI-2003. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado–Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. México. 46 pp.
- Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC 28.052). (1980). 13th ed. Whashington, D.C.
- Olieman C. y Van Den Bedem J.W. (1983). “A sensitive HPLC method detecting and estimating rennet whey solids in skim milk powder”. En: *Netherlands Milk Dairy J*, 37: 27-36.
- Parodi P.W. (1973). “Detection of synthetic and adulterated butterfats. IV. GLC triglyceride analysis”. En: *Aust. J. Dairy Technol.*, 28(1): 39-41.
- Pinto M.C., Fernández de la Reguera P. y Villanueva S.B. (1987). “Detección y cuantificación de adulteraciones en grasa láctea. Análisis de regresión múltiple”. En: *Agro Sur*, 15(1): 32-58.
- Pinto C.M., Casadini V.S., Brito C.C., Molina C.H. e Israel A.L. (1991). “Detección de sólidos totales de suero de quesería en leche pasteurizada y leche en polvo por electroforesis en gel de poliacrilamida-SDS”. En: *Alimentos*, 16(3):23-31.
- Precht D. (1992a). “Detection of foreign fat in milk fat”. En: *Lebensm Unters Forsch.* 94:1-8.
- Precht D. (1992b). “Detection of foreign fat in milk fat”. En: *Lebensm Unters Forsch.* 194:107-114.
- Sistema de Información Comercial de México/Secretaría de Economía (SIC-M/SE). 2006. En *Boletín de Leche* 2005, pp. 35 y 36.
- Timms, R. E. (1980). “Detection and quantification of non-milk fat in mixtures of milk and non-milk fats”. En: *J. Dairy Res.*, 47: 295-303.
- Urbán G., Pérez N., Pérez J., Fresán C., González C., Vega S., Gutiérrez R. y Díaz G. (2002). “Detección de adulteraciones con suero de quesería en leches fluidas mediante electroforesis en gel de poliacrilamida (SDS-PAGE)”. En: *Rev. Salud Animal.*, 24(1): 60-64.
- Urbán G, Vega S., Fresán C., Pérez J., Prado F., González M., González C. y Ramírez A. (1998). “Separación por electroforesis (PAGE-SDS) del caseinomacropeptido liberado por quimosina sobre la k-caseína. Efectos de proteólisis por bacterias psicrótrofas”. En: *Agro Sur*, 26(2): 110-120.

DEL PASTO A LA MESA:  
MEJORA DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN  
DE DOS QUESOS ARTESANALES DEL ESTADO  
DE MÉXICO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS  
BASES DE SU DENOMINACIÓN DE ORIGEN

*O.A. Castelán Ortega<sup>1</sup>, J. Estrada Flores<sup>2</sup>,  
A.D. Solís Méndez<sup>1</sup>, G. Yong Ángel<sup>3</sup>, F. Avilés Nova<sup>3</sup>*

**RESUMEN** El objetivo de este trabajo es describir una propuesta metodológica empleada para el estudio y mejoramiento de dos quesos artesanales Zacazonapan y Ranchero del Estado de México a lo largo de toda la cadena de producción incluyendo su comercialización. Los resultados sugieren que se han logrado avances importantes hacia la consecución de esta meta, en particular ahora se cuenta con información sobre los procesos de producción de leche a nivel de las fincas de los ganaderos, de los procesos de elaboración de los quesos a nivel de los talleres queseros y de los problemas que enfrentan los productores para comercializar sus productos. Esta información será de gran importancia para desarrollar planes y políticas que permitan llegar a la obtención de una distinción de calidad para los quesos Zacazonapan y Ranchero.

**Palabras clave:** leche, quesos artesanales, modelos de simulación, ganado bovino

1 Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario No. 100, colonia Centro. CP.50000, Toluca, México.

2 Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, UAEM.,

3 Centro Universitario Temascaltepec, UAEM. <sup>3</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Chiapas.

**ABSTRACT** The objective of the present work is to describe a methodological approach for the study and improvement of the quality of the Ranchero and Zacazonapan cheeses, which are traditional cheeses from the State of Mexico. All the elements and processes that take part in the cheeses production chains were considered in this study, including commercialization and market aspects. Results presented in the present paper suggest that important progress has been achieved in terms of the identification and description of the problems that restrict productivity at the farm level. Progress has been achieved also on the description of the problems faced by the farmers to gain market access for their products. The information obtained in this work will be very useful for the development of planes and policies that can lead to the registration of an “*Apelation of Origen*” or a collective mark for the Ranchero and Zacazonapan cheeses. Thereby, guaranteeing their protection and presence in the market for many years.

**Key words:** milk, artisan cheese, simulation models, dairy cattle

## INTRODUCCIÓN

El consumo de productos de origen animal en México y otros países en vías de desarrollo continuará la tendencia ascendente observada en los últimos treinta años para convertirse en lo que Delgado (2003) llama “Una nueva Revolución Ganadera”. A medida que esta revolución vaya progresando la dieta de muchas personas cambiará, en algunos casos para bien, pero en otros empeorará, especialmente si la contaminación e inocuidad de los alimentos de origen animal no se mejora. Es bien conocido que la deficiente calidad higiénica de los alimentos de origen animal como la carne, la leche y los productos derivados de ésta, como los quesos, es un problema grave en el mundo en vías de desarrollo en general (Solís *et al.*, 2009). Los quesos artesanales si bien tienen una gran aceptación popular y demanda, representan un riesgo de salud pública importante pues la mayoría son elaborados con leche sin pasteurizar, y muchos son consumidos frescos sin dar tiempo a que el proceso de maduración reduzca naturalmente su carga bacteriana. A pesar de este obstáculo, los quesos artesanales elaborados con los sistemas de producción de leche de bovino en pequeña escala (SPLPE)

representan una opción muy importante de ingreso monetario, por lo tanto el mejorar su calidad, garantizar su inocuidad y proteger el saber hacer, historia y tradición que forman parte su elaboración, es imprescindible. Ello permitiría garantizar, por un lado, que continúen siendo parte del patrimonio de los pueblos, y por otro lado, garantizar que los productores de escasos se beneficien de la nueva revolución ganadera (Castelán *et al.*, 2008).

Los quesos mexicanos típicos elaborados en los SPLPE bajo procesos artesanales ofrecen un caso de estudio excepcional y muy interesante, no solo por la preferencia de los consumidores y la cultura y tradición que están detrás de su elaboración, sino porque el estudio de su proceso de elaboración involucra a todos los eslabones y actores de la cadena productiva. De forma tal que permite el estudio y mejoramiento de cada uno de ellos de manera desagregada, pero al mismo tiempo se pueden observar los efectos de las mejoras implementadas en cada eslabón sobre toda la cadena de producción. En México se elaboran alrededor de 50 variedades de quesos artesanales que se diferencian claramente de sus precursores europeos (Solís *et al.*, 2009). Desafortunadamente se conoce muy poco de estas variedades para atreverse a diferenciarlas entre sí, debido que no existe una cultura de protección a los productos lácteos locales, con excepción del queso Cotija de la sierra de Jalisco que cuenta con una marca colectiva desde el 2005 y actualmente se está trabajando en la obtención de una denominación de origen (Poméon, 2007).

La protección legal de productos alimentarios artesanales, a través de mecanismos como marcas colectivas y apelaciones de origen, es una práctica común en países desarrollados pues con ello se protege la economía de grandes sectores de productores rurales y se salvaguarda el “saber hacer”, el conocimiento local, las tradiciones y la identidad de los pueblos. Algunos ejemplos de esto son los quesos Manchego e Idiazabal de España y el queso Fetta de Grecia. Desafortunadamente, en México no existe esta cultura de protección a sus productos alimentarios artesanales, de no revertir esta tendencia en breve, se corre el riesgo de que empresas o particulares incluso de otros países pretendan registrar como propios estos productos, debido a la gran demanda que de éstos existe y al enorme potencial de negocio

que representan. Por ejemplo, en 2008 México exportó 2000 toneladas de queso principalmente de los tipos artesanales sobre todo a Estados Unidos, lo anterior se debe a que por un lado los migrantes mexicanos siguen manteniendo sus costumbres y preferencias culinarias, y por otro lado a que existe una preferencia creciente por la comida mexicana entre la población anglosajona de Estados Unidos.

De acuerdo con Couillerot (2000) citado por Granados (2004) la designación de productos agroalimentarios con el nombre de su lugar de producción, en la distribución y venta, es una práctica tan antigua como la existencia de los mercados en los que se producían tales transacciones. Al hacerlo, se les confería un valor especial o un mérito particular, reconociéndose implícitamente la fuerte unión entre el medio natural, a través de factores como suelo, geografía, topografía, clima y cultivos, y el hombre y sus especificidades históricas y culturales expresadas en métodos de producción y transformación, que en conjunto configuran las características propias y la calidad de los productos. De este modo, el nombre geográfico de la región determinada llega a confundirse con el producto que ahí se originó y es en ese momento cuando se dan las condiciones para su protección y nace el concepto de Denominación de Origen (DO) como una realidad histórica, cultural, económica y social, que, aunque no haya sido reconocido desde el punto de vista legal hasta entrado el siglo XX, tiene una larga tradición en muchos países, pero especialmente en el mediterráneo europeo. El Arreglo de Lisboa es el acuerdo multilateral firmado por 26 países el 31 de octubre de 1958 relativo a la protección de las Denominaciones de Origen y su Registro Internacional, del cual México es signatario. A pesar de ser uno de los primeros firmantes de éste acuerdo existen muy pocos productos en México que se encuentran protegidos por una denominación de origen, el más conocido es el Tequila, pero también existen otras bebidas espirituosas como el Mezcal, el Bacanora, la Charanda y el Sotol. En cuanto alimentos se encuentran el Café Veracruz, el Café Chiapas, el mango Ataulfo del Soconusco Chiapas y más recientemente el Chile Habanero de Yucatán. Actualmente, no existen quesos mexicanos que cuenten con una denominación de origen.



La definición del término Denominación de Origen y sus Alcances queda implícito en el Artículo 2 del Arreglo de Lisboa: “1) Se entiende por denominación de origen, en el sentido del presente Arreglo, la denominación geográfica de un país, de una región o de una localidad que sirva para designar un producto originario del mismo y cuya calidad o características se deben exclusiva o esencialmente al medio geográfico, comprendidos los factores naturales y los factores humanos. 2) El país de origen es aquel cuyo nombre constituye la denominación de origen que ha dado al producto su notoriedad o bien aquel en el cual está situada la región o la localidad cuyo nombre constituye la denominación de origen que ha dado al producto su notoriedad” (Arreglo de Lisboa, 1958).

En México se ha creado la figura de Marca Colectiva que es una forma de proteger una Indicación Geográfica (IG), pero más flexible que la DO, y se define como: “Aquel signo visible que distingue en el mercado los productos y servicios de las asociaciones, sociedades de productores, fabricantes, comerciantes o prestadores de servicios, legalmente constituidas, respecto de los productos o servicios de terceros” (Poméon, 2007). Como ya se mencionó, el Queso Cotija es el único queso mexicano que cuenta con IG de este tipo, por lo tanto, es claro que existe un gran trabajo por hacer con el objeto de lograr la protección del gran número de quesos típicos que existen en México, de no hacerlo se corre el riesgo de su desaparición con todos los aspectos culturales, sociales e históricos que están asociados a los mismos.

La historia y la cultura asociada a la elaboración de los quesos artesanales como el Ranchero y Zacazonapan es basta y permitiría intentar su registro como productos protegidos por una apelación de origen u otro mecanismo. Estos quesos han evolucionado a lo largo del tiempo y tienen características muy propias que les confiere el “territorio” y el “saber hacer de la gente” que permitiría diferenciarlos claramente de otros quesos similares de México y del mundo.

Uno de los primeros pasos para lograr este objetivo es iniciar el proceso de mejora de todas las etapas del proceso de producción, así como la implementación de procesos de calificación definidos como:

“El proceso que conduce a la definición y caracterización de la calidad del producto y al reconocimiento y certificación del vínculo entre la calidad del producto y su origen”

#### MARCO METODOLÓGICO

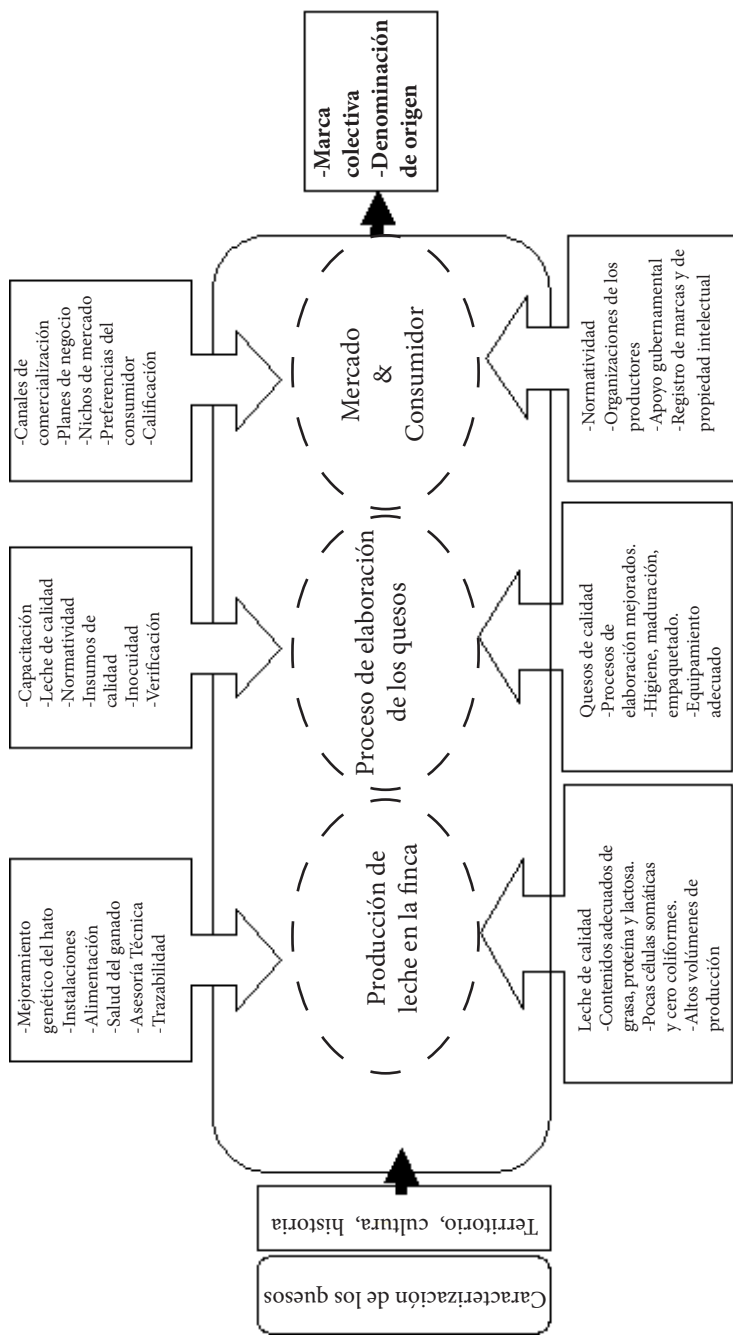
La aproximación metodológica empleada sigue un enfoque de Sistemas, donde se considera el estudio de todos los componentes o subsistemas que participan en la producción de quesos artesanales; en otras palabras, de toda la cadena de producción. Se emplea esta aproximación debido a que se considera que el estudio y mejoramiento de un solo eslabón no será suficiente para mejorar todo el proceso y por lo tanto imposible llegar al fin último que es el de una marca colectiva o de una denominación de origen. Por ejemplo, se puede lograr mejorar la calidad físico-química de la leche a través de buenas prácticas de alimentación del ganado y con ello se puede aumentar el rendimiento en la producción de queso (kg de leche/kg de queso). Sin embargo, si no se mejora el proceso de obtención de la leche de forma tal que se obtenga un producto sano e inocuo, la calidad sanitaria del queso será deficiente pues se obtendrá un producto que no es seguro para el consumo humano, además de que éste tendrá una vida de anaquel muy corta.

De la misma forma, se puede lograr convencer a los productores para que utilicen buenas prácticas para el ordeño higiénico de la leche y además se produzca una leche con niveles aceptables de grasa, lactosa y proteína; pero si las queserías no emplean procedimientos de elaboración que garanticen la limpieza e inocuidad del queso de nada le habrá servido al productor haber hecho el esfuerzo para obtener una leche de calidad. Finalmente, de poco o nada servirá si se logra convencer a los ganaderos y a las microempresas para que produzcan leche de calidad, que resulte en un queso también de buena calidad, si no existe un mercado que pueda absorber esta producción. Es por ello, que se propone abarcar el estudio y mejoramiento de los eslabones

que participan en la producción de dos quesos artesanales de México: el Queso Ranchero y el Queso Zacazonapan, como una aproximación metodológica que posteriormente se pueda emplear en el caso de otro queso artesanal mexicano.

El Queso Ranchero se elabora de manera artesanal en el valle de Toluca, Estado de México. Se emplea leche sin pasteurizar, la cual sufre un proceso de acidificación natural previo al cuajado. Este queso se produce todo el año y se consume fresco, no más de siete días después de elaborado pues su vida de anaquel es muy corta debido a su deficiente calidad sanitaria (Solís *et al.*, 2009). Mientras que el Queso Zacazonapan, por el contrario, es un queso madurado que se produce en el sur del estado de México en el municipio de Zacazonapan. La producción de este queso solo ocurre durante la época de lluvias, de junio a octubre y se emplea leche de vacas alimentadas únicamente con pasto y sin ningún tipo de concentrado. El periodo de maduración va de tres meses a un año, la calidad sanitaria del queso es igualmente deficiente, sin embargo, debido al proceso de maduración se ha observado que después de tres meses de maduración la carga bacteriana se reduce a niveles aceptables por la norma mexicana.

Las escalas de análisis empleadas incluyen los tres eslabones más importantes de la cadena de producción de los quesos artesanales (Figura 1) y son los siguientes: 1. La producción de leche a nivel de la finca, 2. Los procesos de elaboración de los quesos artesanales y 3. El mercado y las preferencias del consumidor. La Figura 1 muestra esquemáticamente como los diferentes eslabones que intervienen en la elaboración de los quesos artesanales se interrelacionan entre sí, y también señala los factores que intervienen y aquellos que los productores deberán cumplir en cada uno de ellos para lograr mejoras en sus procesos. De acuerdo con esta figura todo el proceso debe de iniciar con la caracterización de los quesos artesanales y su proceso de producción a nivel de la finca. La caracterización permitirá conocer en detalle los quesos, identificar problemas y fortalezas para después proponer soluciones o bien continuar mejorando aquellos aspectos que no están tan mal.



**Figura 1.** Eslabones que intervienen en la cadena agro-industrial de producción de los quesos artesanales Ranchero y Zacazonapan.

La organización de los productores es de gran relevancia, pues sin éste difícilmente se podrá lograr mejorar los procesos de producción en todos los eslabones de la cadena. Los productores en primer lugar deberán de estar convencidos de la necesidad de llevar a cabo un esfuerzo de este tipo, y en segundo lugar deberán contar con una organización adecuada apoyada por las instancias de gobierno correspondientes y por los investigadores quienes deberán proveer toda la información técnica que se requiera a lo largo de todo el proceso. Lo anterior es importante porque los productores organizados deberán adoptar compromisos de mejora en sus procesos, los cuales deberán estar sujetos a una verificación rigurosa constante, normalmente a cargo de un Consejo Regulador. Sin una buena organización entre los productores, en cada uno de los eslabones de la cadena de producción, no se podrá llegar a mejorar la calidad de estos quesos artesanales.

## RESULTADOS

Los resultados que se presentan en el presente estudio corresponden principalmente al Queso Ranchero del valle de Toluca, pues es donde se tienen más resultados. A continuación se describen brevemente los proyectos que se desarrollan en cada uno de estos eslabones y algunos de los resultados obtenidos.

### 1. LA PRODUCCIÓN DE LECHE A NIVEL DE LA FINCA

Los avances logrados en este apartado comprenden la tipificación, a través de técnicas de estadística multivariada, de los diferentes tipos de productores de leche que existen en el Estado de México. Por ejemplo, Hernández *et al.* (2010) caracterizó a los productores de leche en pequeña escala del sur del Estado de México y encontró a partir de un análisis cluster cuatro tipos diferentes de productores de acuerdo con sus características estructurales, productivas y económicas, los grupos se describen a continuación.

**Grupo 1 (G 1), unidades Pequeñas.** Este grupo incluye a los productores con más de seis años de educación y mayor venta de leche/año (Mx \$71,400), la superficie de la unidad de producción es menor (8.38 ha) que la de los otros grupos, con áreas dedicadas para praderas, así como menor tamaño de hato (7.0 vacas en promedio). Todos los productores desparasitan, vacunan y administran minerales a su ganado. Los becerros se venden antes de cumplir un mes de edad y el intervalo entre partos es corto (410 d). La alimentación del ganado se basa en praderas y suplementan con gran cantidad de concentrados (6-9 kg/vaca/d). La producción promedio de leche por vaca es alta (10.5 L/vaca/d). Los mayores ingresos los obtienen de la venta de leche y en menor medida de la venta de becerros y vacas de desecho.

**Grupo 2 (G 2), unidades Medianas.** En este grupo se encuentra la mayoría de los productores y es caracterizado porque tienen menos años de educación pero con mayor edad, la superficie en promedio es 19 ha, las cuales se usan para praderas. El número promedio de vacas es de 8.5. Desparasitan, vacunan y el destete lo realizan a mayor edad y solo venden a los machos; el intervalo entre partos es largo (418.5 d). Los bovinos son alimentados mediante praderas nativas y concentrados. La producción promedio de leche por vacas es de 7.9 kg/d. El 70% de los productores siembran maíz, usan el rastrojo para alimentación del ganado en la época de secas. Los ingresos los obtienen de la venta de crías y desechos, leche y quesos.

**Grupo 3 (G 3), unidades Grandes.** Este grupo se caracteriza por tener mayor extensión de tierra destinada para praderas (60 ha), un mayor número promedio de vacas (22), alta producción de leche por vaca (11.1 L/vaca/d), buenas prácticas de manejo y una edad al destete de los becerros de cuatro meses. El intervalo entre partos es el menor (400 d) en comparación con los otros grupos. La alimentación del hato se basa en praderas nativas, pastos introducidos y uso elevado de concentrados. Los productores tienen menos años

de educación (<4.3 años). En estas unidades de producción la mayor parte de sus ingresos provienen de las ventas de becerros recién destetados, vacas de desecho, vacas en producción y la venta de queso ya que toda la leche obtenida la transforman.

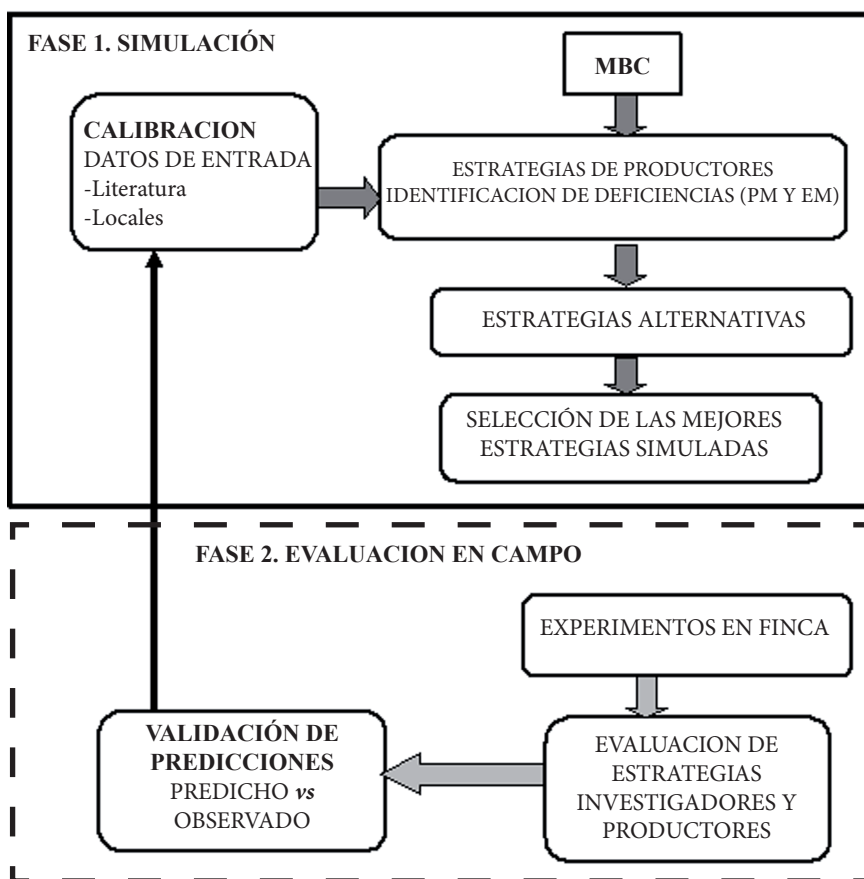
**Grupo 4 (G 4), unidades de Subsistencia.** Estas unidades se caracterizan por contar con pequeñas extensiones de tierra (4.3 ha) que son utilizadas para praderas, así como menor tamaño de hato en comparación con los demás grupos, en promedio 2.3 vacas. Dan poco manejo a su hato por lo que tienen largos intervalos entre partos y una edad al destete mayor (8.6 meses); por lo tanto se presentan una baja producción de leche por vaca (5.9 kg/vaca/d). La alimentación del hato se basa en forrajes nativos, bajas cantidades de concentrado y rastrojo del maíz en la época de secas.

### **Desarrollo de estrategias de alimentación del ganado lechero en los SPLPE**

El desarrollo de estrategias de alimentación que se ajusten al potencial productivo de los animales y a los recursos alimentarios disponibles se logra a través de un enfoque basado en el uso de modelos de simulación y experimentación en finca. La Figura 2 muestra la aproximación metodológica empleada, una breve descripción de las etapas incluye: 1. Calibración del un modelo de vaca lechera llamado “Butter Cup Cow Model” (MBC) con datos de la literatura y generados en esta investigación, 2. Simulación de las estrategias de alimentación del ganado utilizadas por los productores, 3. Identificación de deficiencias de energía y proteína metabolizables en estas estrategias y desarrollo de nuevas estrategias que subsanen estas deficiencias y 4. Selección de estrategias óptimas. En la Fase de Evaluación en Campo se implementaron en las fincas de los ganaderos las mejores estrategias de alimentación desarrolladas en la fase de simulación. Posteriormente, se compararon los datos de producción láctea obtenida en campo con las predicciones del MBC, con el objeto de validar las predicciones del modelo

y nuevamente seleccionar las mejores estrategias, pero ahora a partir de datos obtenidos de experimentos reales.

Los resultados de esta aproximación son presentados en detalle en Ambriz *et al.* (2009a, 2009b). Las principales conclusiones sugieren que la aproximación empleada es útil para desarrollar estrategias de alimentación para SPLPE. Sin embargo, resulta indispensable calibrar el MBC de manera específica para zona, región y sistema productivo con el objeto de obtener predicciones cercanas a la realidad.

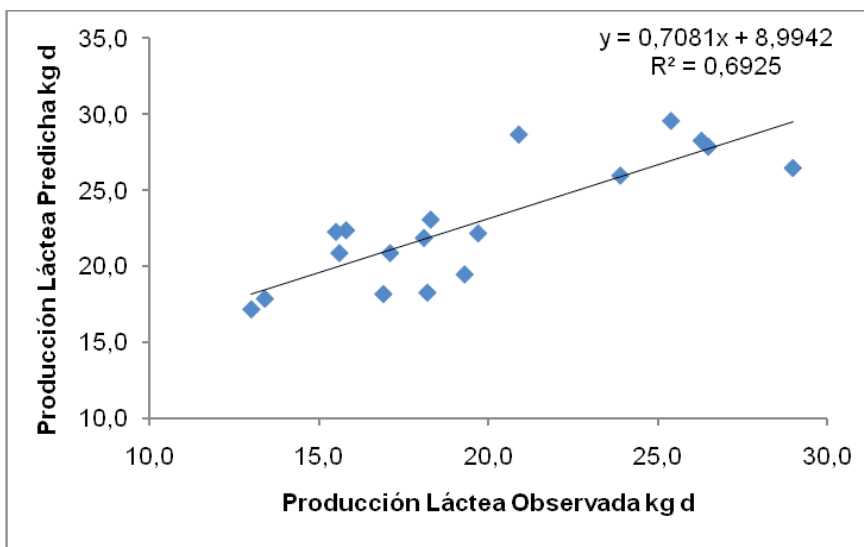


**Figura 2.** Aproximación metodológica para el desarrollo de estrategias de alimentación para Sistemas Campesinos de Producción de Leche.



La Figura 3 muestra la relación entre los valores predichos por el modelo MBC y los observados en un experimento de suplementación con diferentes niveles de un concentrado elaborado con pasta de soya, urea, melaza y maíz en grano a vacas lecheras bajo pastoreo en el valle de Toluca. Los resultados sugieren que las predicciones de producción de leche del modelo son muy cercanas a las observadas de manera experimental, para el caso del área de estudio.

La producción de leche por vaca se ha incrementado en las fincas participantes en el proyecto, como resultado de la aplicación de las nuevas estrategias de alimentación. Por ejemplo, el Cuadro 1 presenta los promedios de producción de leche de vacas que recibieron diferentes niveles de un concentrado desarrollado bajo el enfoque antes mencionado. La evaluación del concentrado se llevó a cabo a través de tres experimentos que se realizaron en diferentes unidades de producción de la región sur del estado de México.



**Figura 3.** Comparación de la producción de leche observada contra la predicha por el modelo MBC para ganado lechero bajo pastoreo en el valle de Toluca, México.

Como se puede observar en el Cuadro 1, existió una mejoría significativa con respecto de lo que los productores habían venido haciendo, pues los promedios de producción de leche del Cuadro 1 son superiores a los reportados por Hernández *et al.* (2009) para los productores cuyas unidades se clasifican como grandes y pequeñas. También se observa que con dosis de 6 kg del concentrado experimental se pueden lograr producciones más altas o similares a las que los ganaderos obtienen al emplear el un concentrado de marca comercial.

**Cuadro 1.** Efecto de la suplementación con un concentrado experimental sobre la producción de leche de vacas de tres unidades de producción según la clasificación de Hernández *et al.* (2009) para ganaderos de la región sur del estado de México.

Tratamiento	Unidad grande	Unidad mediana Kg/vaca/d	Unidad mediana
1	18.3	10.5	8.6
2	17.0	9.7	8.4
3	16.3	11.3	11.0
4	17.3	10.2	8.2

Tratamiento 1= 8 kg del concentrado de la dieta, Tratamiento 2= 7 kg de concentrado de la dieta, Tratamiento 3= 6 kg del concentrado comercial de la dieta y Tratamiento 4= 8 kg del concentrado comercial.

Fuente: López (2009).

### **Caracterización nutricional de forrajes y alimentos empleados SPLPE**

Se han logrado avances significativos en descripción productiva, botánica, agronómica, y nutritiva de las principales especies forrajeras presentes en el estado a través del uso de una amplia batería de técnicas de laboratorio (producción de gas, digestibilidad *in vitro*, análisis químico proximal, taninos, polifenoles, etc. y de campo. También se ha avanzado en la caracterización nutritiva de las principales estrategias de alimentación empleadas por los ganaderos; el Cuadro 2 muestra una amplia descripción de las características nutritivas de las principales

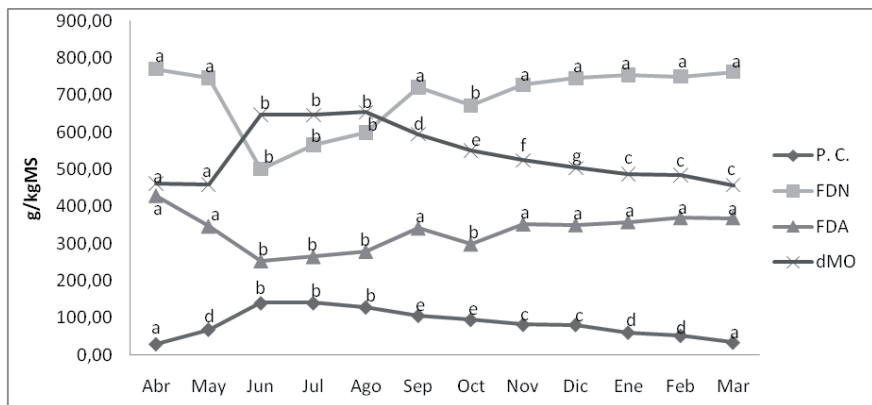
**Cuadro 2.** Características nutritivas y de cinética de fermentación de los ingredientes utilizados en los SPLPE del valle de Toluca.

Variable	RM	FVM	ALF	AV	PT	CCO	CPR	GM	PO
MS	85.8	22.9	86.5	86.0	27.0	87.4	91.5	86.0	89.0
FDN	695	629	474	581	582	280	201	119	380
A cho	267	296	106	250	160	410	600	301	256
T A cho	0.21	0.26	0.15	0.26	0.30	0.21	0.20	0.17	0.16
B cho	0.69	0.71	0.49	0.30	0.76	0.67	0.59	0.95	0.63
T B cho	0.05	0.06	0.10	0.07	0.09	0.15	0.07	0.11	0.06
Lag B	7.0	7.0	4.7	5.5	0	3.4	4.0	5.8	4.5
Almidón	0	0	0.5	9	0	0.7	0.8	0.7	0.9
PC	59.3	87.5	190.0	90.9	156.0	216.0	129.6	93.4	335.3
Grasa	13.2	32.7	30.0	24.0	21.0	71.0	46.2	43.0	0.5
Cenizas	65.0	57.7	107.0	79.0	70.0	75.0	23.6	17.5	49.8

RM= rastrojo de maíz, FVM= forraje verde de maíz, ALF= alfalfa, AV= avena, PT= pradera, CCO= concentrado comercial, CPR= concentrado productores (grano de maíz molido 670 g kg<sup>-1</sup> MS y salvado de trigo 330 kg<sup>-1</sup> MS), GM= grano de maíz, PO= pollinaza. MS= Materia Seca, FDN Fibra Detergente Neutro kg<sup>-1</sup> MS, A cho= fracción soluble de la pared celular digestible kg<sup>-1</sup> MS, Tasa A cho= tasa de degradación de la fracción soluble de la pared celular kg<sup>-1</sup> MS, B cho= fracción potencialmente degradable de la pared celular kg<sup>-1</sup> MS, T B cho= tasa de degradación de la fracción potencialmente degradable de la pared celular kg<sup>-1</sup> MS, Lag B= fase lag de la fracción potencialmente degradable h<sup>-1</sup>, PC= Proteína Cruda, Grasa kg<sup>-1</sup> MS, Cenizas kg<sup>-1</sup> MS

dietas empleadas por los ganaderos del valle de Toluca. Esta información es esencial para alimentar el modelo de simulación MBC y desarrollar nuevas estrategias

De la misma manera la Figura 5 muestra las principales características nutritivas del pasto estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), el cual es el principal forraje empleado por los ganaderos de la región sur del Estado de México, donde se produce el queso Zacazonapan, y es este pasto precisamente el que le confiere su sabor característico. Los datos de la Figura 4 muestran que la calidad del pasto estrella es baja durante la mayor parte del año, con excepción de los meses de la época de lluvias (junio a septiembre), cuando su calidad es mejor. Estos resultados indican la gran necesidad que existe para desarrollar estrategias de alimentación que cubran adecuadamente las necesidades de energía y proteína del ganado para el resto del año donde la calidad del pasto es realmente mala (López-González *et al.*, 2010), como claramente se muestra en la Figura 5.



**Figura 4.** Variación en la calidad nutritiva del pasto estrella en los sistemas de producción de leche en pequeña escala en el sur del estado de México. Fuente: López-González *et al.*, 2010.

## 2. LOS PROCESOS DE ELABORACIÓN DE LOS QUESOS

### ARTESANALES EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA LECHE EMPLEADA EN LA ELABORACIÓN DE LOS QUESOS

Se han realizados estudios por este grupo de investigación sobre la evaluación de la calidad físico-química y sanitaria de la leche y las prácticas de manejo sanitario durante y después de la ordeña a través de estudios longitudinales en finca y de una completa batería de pruebas de laboratorio que incluyen más de quince diferentes determinaciones. Los procedimientos completos se describen en detalle en Bernal *et al.* (2007, 2008). El Cuadro 3 presenta un resumen de los resultados de la composición fisicoquímica de la leche por zona de estudio, actividad de los ganaderos y el periodo de evaluación. El Cuadro 4 muestra las características sanitarias de las mismas muestras de leche para las mismas variables de evaluación. Este trabajo se llevó a cabo en la regiones productoras del Queso Ranchero del Estado de México, región norte (ZN) (20° 10' 13" N y 99° 55' 40" O), y región centro (ZC) (99°51 W y 19°24 N). Se tomaron muestras de leche de sesenta hatos, 30 por cada zona, a su vez en cada zona se subdividió a los productores en dos grupos de 15 cada uno en función del papel que la lechería juega como: fuente principal de ingresos (FP) o como fuente complementaria (FC), es decir, 30 productores por cada grupo. Se establecieron seis periodos (P) de muestreo. Se registró también el manejo sanitario al momento del ordeño y los ingredientes utilizados para alimentar al ganado. A cada muestra se le determinó el contenido de grasa, proteína, densidad y presencia de adulteración con agua. También se determinó el contenido de lactosa, sólidos totales, el pH, la acidez y el contenido de cenizas. Finalmente, la leche se clasificó según la Norma Mexicana NMX-F-700-COFOCALEC-2004 en tres categorías clase A, B y C, según su contenido de grasa y proteína.

En el análisis de la calidad sanitaria se determinó el recuento total de bacterias mesófilos aerobios (BM) en placa y coliformes totales (CT) en placa, así como el contenido de células somáticas (CS) a través de la prueba de Wisconsin.

**Cuadro 4.** Mediana del contenido de BM y CT en la leche por zonas, actividad y periodos

	BM ufc/ml	CT ufc/ml
Zonas		
ZC	49 375 <sup>a</sup>	128 <sup>a</sup>
ZN	198 750 <sup>b</sup>	1137 <sup>b</sup>
Actividad		
FP	73 500 <sup>a</sup>	102 <sup>a</sup>
FC	125 00 <sup>b</sup>	592 <sup>b</sup>
Periodo		
P1	617 500 <sup>ab</sup>	6 085 <sup>a</sup>
P2	102 000 <sup>b</sup>	4 805 <sup>a</sup>
P3	78 500 <sup>bc</sup>	285 <sup>b</sup>
P4	63 750 <sup>bc</sup>	103 <sup>b</sup>
P5	28 125 <sup>c</sup>	200 <sup>b</sup>
P6	950 000 <sup>a</sup>	850 <sup>a</sup>

Literales diferentes dentro de cada columna señalan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), BM: bacterias mesofilos aerobias,

CT: coliformes totales, ZN: zona norte, ZC: zona centro, FP: fuente principal de ingresos, FC: fuente complementaria,

P: periodo

Fuente: Bernal *et al.* (2007).

Los resultados del Cuadro 3 muestran que todos los parámetros se encontraron dentro de lo establecido por la NMXf700. La legislación mexicana establece un contenido mínimo de 30 g/l de grasa y 115 g/l de sólidos totales, ambos parámetros fueron rebasados en las dos zonas de estudio. En general, es posible decir que la leche producida en los SPLPE cumple con los estándares mínimos que fija la norma mexicana para grasa y proteína. Así mismo, se observó que la mejor calidad se encontró en los productores que atienden a un mercado más especializado de producción y comercialización de lácteos (FP), alcanzando la clasificación de una leche de calidad promedio o B. Se observó también que la calidad de la leche es afectada por la estacionalidad del sistema de producción, el cual está fuertemente influido por la disponibilidad y calidad de los forrajes para alimentar al ganado. Los resultados del Cuadro 4 muestran el contenido de bacterias mesófilas (BM) y coliformes totales (CT) por zonas de producción, entre productores de leche con FP y FC de ingresos, así como entre periodos. Los resultados indicaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre zonas, productores y entre periodos. Se observa que los niveles de BM superan los permitidos por la NMX para una leche de calidad o Clase 1, en particular para el caso de ZN, FC, P1, P2 y P6 lo cual la califica como una leche de clase 3 o incluso 4. También se observa que los CT superan el máximo permitido por la Norma que es de 1,000 UFC/ml. En general, los resultados de las características sanitarias de la leche muestran la poca vigilancia, educación y preocupación por parte de los productores por producir una leche de buena calidad sanitaria, pero también muestra poca inspección e implementación de la legislación vigente por parte de las autoridades respectivas. Estos resultados sugieren que la calidad sanitaria de la leche producida en SPLPE del Estado de México es deficiente, debido a prácticas inadecuadas de ordeño, como el no lavarse las manos y no lavar y secar los pezones de las vacas. Esta situación es una de las más importantes a resolver para lograr productos lácteos de calidad.

### **La elaboración de los quesos artesanales Ranchero y Madurado**

En este eslabón se estudia en detalle los procesos de elaboración de dos quesos típicos de los SIGABPE; se determinan sus características sanitarias, fisicoquímicas, de textura y organolépticas a través de un enfoque que comprende más de 20 diferentes determinaciones de laboratorio, de paneles de evaluadores en combinación con técnicas de estadística multivariada. La evaluación se hace de forma longitudinal con el objeto de apreciar cambios en el tiempo y documentar variaciones en la calidad y los procesos. Lo anterior con el objeto de mejorar los procesos y obtener productos de mejor calidad.

En esta parte del estudio se trabajó con ocho talleres artesanales elaboradores de Queso Ranchero con presencia en los tres principales mercados de la región considerados así por su antigüedad y tradición. Se determinó la cantidad de Coliformes Totales, Levaduras y Moho en insumos, superficies, utensilios y equipos del proceso de elaboración en los Talleres de Producción de Queso. Se tomaron muestras de queso con 4 a 24 horas de elaborado, las muestras por duplicado fueron transportadas a 4 °C al laboratorio para analizar su características fisicoquímicas y sanitarias. A cada muestra se le determinó su contenido de humedad (Hm), la grasa, proteína (Pr), cenizas (Cz), pH, acidez (Ac) y contenido de cloruros (NaCl). Todas las determinaciones se realizaron por duplicado. Los parámetros sanitarios evaluados fueron Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF), Levaduras y Moho (LyM), *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp. y *Listeria* sp.

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos se presentan en el Cuadro 5. De acuerdo con los criterios de la norma COFOCALEC (2005) para la clasificación de los quesos, el Queso Ranchero analizado en este trabajo se clasificó como un queso fresco debido a que no se sometió a un proceso de maduración, presentó alto contenido de humedad, textura blanda, sabor suave, no presentó corteza, es un producto que requerirá de refrigeración para su conservación y se consume en los primeros siete días a partir de su fecha de elaboración.



**Cuadro 5.** Parámetros fisicoquímicos del Queso Ranchero

Valores	% Proteína	% Grasa	pH	Acidez °D	% Humedad	% Cenizas	% NaCl
Máximo	32,6	32,0	5,7	30,0	61,8	4,3	1,4
Mediana	24,8	20,4	5,0	21,7	49,6	2,8	0,9
Mínimo	16,3	12,4	4,3	15,0	37,8	1,3	0,5

°D= Grados Dornic.

Es de pasta friable o desmoronable debido a que permitió su disgregación en pequeñas partes al ser sometido a un esfuerzo mecánico con la capacidad de fundirse ya que al someterse a una temperatura mayor de 60 °C se derrite perdiendo su formato sólido. Por su contenido de grasa se clasificó como bajo en grasa porque el contenido fue superior o igual a 10% y solo en un periodo fue mayor a 25%. Por su contenido de humedad se considera entre duro y extraduro debido a que el rango del contenido de humedad fue entre 45 a 56%. Cumple satisfactoriamente el contenido de proteína.

Con respecto de los parámetros sanitarios se observó que la mediana de los conteos de Células Somáticas en la leche muestreada de los talleres de elaboración de queso fue de 398 500/ml, el límite máximo es de 200 000/ml. En el queso los conteos de Coliformes Totales, Coliformes Fecales, *Staphylococcus aureus*, Levaduras y Moho regularmente rebasaron los permitidos por las normas sanitarias (Cuadro 6). Se observó que las prácticas de limpieza de utensilios y equipos son deficientes por el uso de agua contaminada con Coliformes, Levaduras y Moho debido a un manejo inapropiado de los depósitos de agua. Tampoco existe la cadena de frío en su producción (Cuadro 7).

**Cuadro 6.** Conteo de bacterias patógenas en el Queso Ranchero

Bacteria UFC/g	Mediana	Máximo	Mínimo	NOM 121
Coliformes totales UFC/g	2.2 x10 <sup>3</sup>	2.9x10 <sup>5</sup>	Ausente	---
Coliformes fecales UFC/g	150	2.4x10 <sup>2</sup>	3	100
Levadura y Moho UFC/g	6.6 x10 <sup>3</sup>	3 x10 <sup>6</sup>	Ausente	500
<i>Staphylococcus aureus</i>	2.8 x10 <sup>2</sup>	2.6 x10 <sup>6</sup>	Ausente	1000
<i>Salmonella</i> sp.*	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
<i>Listeria</i> sp.*	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

n = 8. UFC/g= Unidad formadora de colonia por gramo. \*= en 25g. NOM 121= Limite Máximo con referencia a la norma NOM-121- SA1- 994,

Los trabajos realizados sobre el Queso Ranchero sugieren que sus características fisicoquímicas cumplen con las normas mexicanas. El proceso se encuentra estandarizado dentro de cada taller artesanal. Pero no existen esfuerzos individuales o colectivos para mejorar los procesos de elaboración de los quesos y así subsanar sus deficiencias y preparar su ingreso a mercados que demandan productos inocuos y de mayor calidad.

**Cuadro 7.** Conteo de bacterias en superficies, utensilios e insumos empleados en la elaboración de QRA

<b>Superficies y utensilios</b>	<b>LyM UFC/cm<sup>2</sup></b>	<b>CT UFC/cm<sup>2</sup></b>
cazo	230	220
cuchillo	1700	100
manos	2400	6200
coladera (metal)	200	1500
pala de madera	1100	4800
cubeta (plástico)	500	1400
colador (plástico)	1500	9600
molino	1200	750
tela	220	3300
molde	100	2200
recipientes plásticos	2800	3800
recipientes metálicos	0	0
superficie de amasado	700	1700
superficie de oreo	3200	4200
<b>Insumos</b>	<b>LyM UFC/ml</b>	<b>CT UFC/ml</b>
agua	120	200
leche	5900	780
cuajo	76000	95900

n = 8. LyM = Levaduras y Moho, CT= Coliformes Totales. UFC/cm<sup>2</sup>= Unidad formadora de colonia por centímetro cuadrado, UFC/ml = Unidad formadora de colonia por mililitro.

Por otro lado, existe una demanda importante de los quesos artesanales por su extenso uso en la gastronomía mexicana al considerarse genuinos debido a su buena calidad ya que están elaborados únicamente con insumos naturales sin aditivos ni conservadores; la leche para elaborar estos quesos

se obtiene bajo sistemas extensivos de bovinos en pastoreo o de traspatio que también es un sector productivo que se debe fomentar.

### 3. EL MERCADO Y LAS PREFERENCIAS DEL CONSUMIDOR

Aquí se estudian las formas actuales de comercialización, preferencias de los consumidores con respecto de las características deseables en los quesos de estudio, la estructura del mercado, la normatividad vigente, la posibilidad de organizar a los productores en torno de marcas colectivas para enfrentar de mejor manera el mercado, los requisitos que tendrán que cumplir para lograr su denominación de origen. Los resultados obtenidos hasta el momento indican que el total de la producción de ambos quesos se comercializa directamente en mercados populares; en ningún caso se observó su incursión a los supermercados pues no cuentan con marcas propias, empaques o etiquetas que les permitan incursionar en este mercado. Del mismo modo, no se observó alguna forma de organización entre los productores para comercializar su producto o para mejorar los procesos de elaboración. De hecho no se observó que los productores se organicen para mejorar los procesos de producción en ninguno de los eslabones de la cadena de producción. Por lo tanto, estos son los aspectos en los que se tendrán que desarrollar los esfuerzos más importantes si es que se desea que ambos quesos obtengan una marca colectiva o algún otro distintivo de calidad en el corto plazo.

### CONSIDERACIONES FINALES

El problema principal en la producción de Queso Ranchero y Zacazonapan es su deficiente calidad sanitaria debido a que la contaminación proviene de prácticas incorrectas higiénicas a través de la cadena productiva, es decir, tanto en el ordeño, manufactura y comercialización. Es por ello que se debe enfatizar en subsanar estas prácticas inadecuadas con la finalidad de conseguir quesos inocuos ya que se considera que los sistemas de producción artesanal de queso son idóneos debido a que son una actividad importante

para el desarrollo económico por representar una forma de autoempleo y de ingreso para las familias rurales que se dedican a la producción de lácteos. Además de mantener tradiciones culturales y alimentarias frente a la globalización, ofrecen productos diferenciados, atraen turismo, fomentan el relevo generacional y la permanencia en áreas rurales marginadas.

La aproximación seguida en este trabajo para el estudio y mejoramiento de los quesos Ranchero y Zacazonapan permite tener una visión más amplia de la situación actual de los quesos artesanales. Ahora se sabe que los problemas más importantes que se tienen que resolver antes de que los quesos artesanales estudiados puedan obtener algún distintivo de calidad son su calidad higiénica por un lado, y por el otro, motivar a los productores para que se organicen con el objeto de mejorar sus procesos de producción y sobre todo crear las estrategias de comercialización adecuadas que les permitan incursionar en los mercados con un mayor valor adquisitivo.

## BIBLIOGRAFÍA

Ambriz-Vilchis V., Estrada-Flores J.G., Hernández-Ortega M., Rojas-Garduño M. A., Sánchez-Vera E., Espinoza-Ortega A., Castelán-Ortega O.A. (2009a). "Development of feeding strategies for cows in small scale dairy farming systems in the highlands of central Mexico by a simulation model and on-farm experiments". En: Phase 1: Development of a novel framework. En: *Crop Modeling and Decision Support* (Cao Weixing, White Jeffrey and Wang Enli, editores). Springer- Tsinghua University Press, pp. 241-248. ISBN: 978-3-642-01131-3.

\_\_\_\_\_ (2009b). "Development of feeding strategies for cows in small scale dairy farming systems in the highlands of central Mexico by a simulation model and on-farm experiments. Phase II: On-farm experiments and validation of a simulation model". En: *Crop Modeling and Decision Support* (Cao Weixing, White Jeffrey and Wang Enli, editores). Springer- Tsinghua University Press, pp. 241-248. ISBN: 978-3-642-01131-3.

Arreglo de Lisboa relativo a la Protección de las Denominaciones de Origen y su Registro Internacional (1958). Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. Documento en Internet se puede consultar en: [http://www.wipo.int/lisbon/es/legal\\_texts/lisbon\\_agreement.htm#P24\\_1293](http://www.wipo.int/lisbon/es/legal_texts/lisbon_agreement.htm#P24_1293)

- Bernal Martínez R., Rojas Garduño M.A., Vázquez Fontes C., Espinoza Ortega A., Castelán Ortega O.A. (2007) Determinación de la calidad fisicoquímica de la leche cruda producida en sistemas campesinos del Estado de México”. *Veterinaria México*, 38(4): 395-407.
- Bernal Martínez L.R. (2008). “Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y sanitaria de la leche producida en los sistemas campesinos del Estado de México”. Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Castelán O.O., Bernués J.A., Ruiz S.R., Mould F.L. (2008) .Opportunities and challenges for smallholder ruminant systems in Latin America, resource management, food safety, quality and market access. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. ISBN:978-970-757-133-4. (Castelán O.O., Bernués J.A., Ruiz S.R., Mould F.L Eds). Toluca, México.
- Consejo para la Calidad de la leche y sus Derivados, A.C. COFOCALEC. 2005. NMX-F-713-COFOCALEC-2005. Sistema Producto Leche. Alimentos Lácteos. Queso y queso de suero. Denominaciones, especificaciones y métodos de prueba. Guadalajara, México.
- Delgado C., Rosegrant M., Steinfeld H., Ehui S., Courbois C. (1999). Livestock to 2020: the next food revolution. IFPRI-FAO-ILRI, Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper 28.
- Delgado L.C. (2003). “Rising consumption of meat and milk in developing countries has created a new food revolution”. *The Journal of Nutrition*, (133): 3907S-3910S.
- Granados-Rojas L.G. (2004). Indicaciones geográficas y denominaciones de origen. Un aporte para su implementación en Costa Rica IICA - PRODAR – MAG – CNP. Ministerio de Agricultura y Ganadería Consejo Nacional de Producción. Costa Rica.
- Klieve A.V. y Ouwerkerk (2007). “Comparative greenhouse gas emissions from herbivores. En: Herbivore Nutrition for the Development of Efficient, Safe and Sustainable Livestock Production”. En: *Proceedings of the 7th International Symposium on the Nutrition of Herbivores*. Edit. Qing xiang Meng, Liping Ron, and Zhijun Cao-Beijing. China Agricultural University Press. China. pp. 487-488.
- López González F. (2009). Determinación de consumo voluntario de pastos y alimentos en vacas Holstein estabuladas y en pastoreo en el sureste y centro del Estado de México. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

- López-González F., Estrada-Flores J.G., Avilés-Nova F., Yong-Ángel G., Hernández-Morales P., Martínez-Loperena R., Pedraza-Beltrán P.E. and Castelán-Ortega O.A. (2010). "Evaluación agronómica y composición química del pasto estrella de África (*Cynodon plectostachyus*) en el sur del Estado de México". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12 (1):151-159.
- NOM-121-SSA1-1994, Bienes y servicios Quesos: frescos, madurados y procesados. Especificaciones sanitarias.
- Poméon T. (2007). El Queso Cotija, México. Un producto con marca colectiva queso "Cotija Región de origen", en proceso de adquisición de una Denominación de Origen. Consultoría realizada para la FAO y el IICA en el marco del estudio conjunto sobre los productos de calidad vinculada al origen.
- Speedy A.W. (2003). Global Production and consumption of animal source foods. *The Journal of Nutrition*, (133): 4048S-4053S.
- Solís A., Yong G., Estrada J., Castelán O. (2009). "Retos de la producción artesanal de los quesos mexicanos para ingresar al concepto limpio, verde y ético". *Agrociencia*, 13(3), 88.

**ANÁLISIS DE SISTEMAS  
DE PRODUCCIÓN ANIMAL**





# RECONFIGURACIÓN TERRITORIAL E INTEGRACIÓN VERTICAL DEL SISTEMA LÁCTEO EN MÉXICO: LECCIONES A PARTIR DEL CASO DE QUERÉTARO

*A. Álvarez-Macías<sup>1</sup>, E. Montaña-Becerril<sup>2</sup>,  
Robert W. Cárcamo Mallen<sup>3</sup>*

**RESUMEN** En este estudio se analizan la estructura y funcionamiento del sistema lácteo de la zona Valles Centrales, del estado de Querétaro. Se distinguieron tres subsistemas: industrial, coordinado oficial y artesanal, que muestran niveles organizativos y de eficiencia contrastantes. Por ello, se concluye que la región en su conjunto ha alcanzado una competitividad limitada.

**Palabras clave:** Sistema lácteo, Querétaro, convención, competitividad

**SUMMARY** The present study analyses the structure and functioning of the dairy production system of the Central Valleys of the State of Queretaro, Mexico. Three subsystems were clearly identified: industrial, coordinated and artisan subsystems all of which showed contrasting organizational and efficiency levels. It is concluded that the region, as a whole, has reached a limited competitiveness.

**Key words:** dairy system, Querétaro, convention, competitiveness

1 Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. aalvarez@correo.xoc.uam.mx

2 Doctorante, Facultad de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México emontanob@hotmail.com

3 Estudiante de Maestría en Desarrollo Regional, Instituto de Investigaciones Dr. Mora carcamo\_rt@yahoo.com.mx

## INTRODUCCIÓN

En la evolución de los sistemas agroalimentarios se aprecian trayectorias contradictorias, dado que en el marco del proceso de globalización éstos se enfrentan a distintas oportunidades para insertarse al mercado internacional, aportando tanto insumos y bienes de capital como productos intermedios y terminados, ya sea a partir del acceso a tecnología, acceso oportuno de información privilegiada o rentas de localización, entre otros. Sin embargo, estas posibilidades se han entorpecido en los últimos años por la crisis global que, entre otros aspectos, se expresa por la depresión en la demanda internacional de insumos y productos alimentarios, por la escasez de financiamiento y, en última instancia, por el rediseño de nuevas reglas de funcionamiento de la economía internacional.

Los sistemas de lácteos en el mundo se encuentran inmersos en esta dinámica y han experimentado una sensible variación de precios en sus insumos básicos, como granos forrajeros, equipo fabricado con acero y por supuesto en combustibles. También la incorporación de nuevos jugadores, como China y Brasil, han alterado la actividad de dichos sistemas productivos, a tal grado que en un inusitado incremento de precios en 2007 para los lácteos, siguió una notable caída de los mismos hasta mediados de 2009 y, efectivamente, en los últimos meses se retoma una tendencia al alza, como se expondrá en apartados ulteriores.

Esto viene a reforzar la reestructuración de los sistemas lácteos en diferentes territorios, como consecuencia de las nuevas formas de regulación económica, de los procesos de innovación tecnológica y de las renovadas formas de organización social, tanto en las relaciones intraempresas como interempresas. De hecho, en la entidad mexicana de Querétaro —base espacial del presente estudio— parte de esos reajustes provienen de una larga trayectoria histórica, ya que la producción de leche tiene una importancia económica y social preponderante en esta región, en buena medida asociada a grupos de productores del tipo empresarial.

Así mismo, la transformación que experimentó México hacia la industrialización y urbanización en las tres décadas recientes, es especialmente intensa

en la zona centro del país, donde los reacomodos han apuntado hacia una organización polarizada, ya que por un lado existe un reducido grupo de empresarios lecheros que han mostrado marcados signos de progreso, sin embargo, la mayoría muestra serios obstáculos para mantener su actividad económica y, más aún, para generar empleos y atenuar los efectos sobre el medio ambiente. Esta estructura dual se ha favorecido en el estado de Querétaro por la capacidad organizativa de los productores de leche de tipo empresarial, así como por el trascendental y continuo apoyo recibido a través de subsidios públicos.

A la sombra de este grupo de empresarios ha evolucionado un amplio conjunto de productores de leche en pequeña escala, que desplazados espacialmente ocupan las tierras menos productivas, con apoyos públicos reducidos y sin la organización social suficiente para sentar las bases de un desarrollo alternativo. Así, estos productores funcionan sobre una lógica familiar que los sitúa en una situación muy desventajosa para competir dentro de los mercados regional y nacional.

La problemática antes reseñada es la que motiva el presente trabajo, para lo cual se ha seleccionado el estado de Querétaro, ubicado en el centro del país y que conforma parte del corredor industrial nacional. El objetivo central consiste en caracterizar la estructura y funcionamiento del sistema de lácteos, distinguiendo los subsistemas a su interior y su distribución espacial. Ello en la perspectiva de detectar las principales contradicciones y ventajas que caracterizan a este sistema productivo, así como la posible trayectoria que puede seguir en el futuro inmediato.

Las observaciones empíricas que sustentan la investigación se realizaron específicamente en la zona conocida como Valles Centrales, donde cohabitan los dos sistemas de producción lechera; los más intensivos, con base en innovaciones tecnológicas y mecanismos de integración vertical sofisticados, con los de tipo tradicional; que manejan un régimen semi-intensivo, utilizan mano de obra familiar y operan en canales comerciales mixtos (tradicionales e institucionales). Por esta diversidad, se subraya que la estructura y funcionamiento de esta cadena agroalimentaria están lejos de ser lineales y suelen mostrar contradicciones importantes.

Para examinar la problemática en cuestión se adoptó una perspectiva deductiva, revisándose primeramente los principales cambios en los mercados mundial y nacional de lácteos en el marco de los modelos de apertura económica, que influyen en el desempeño de la cadena agroindustrial lechera nacional. Para después reconocer la organización productiva y su expresión territorial, con ayuda de análisis cartográfico y el apoyo del resultado de entrevistas semiestructuradas a 15 informantes clave.

Adicionalmente, se aplicaron 32 encuestas detalladas en unidades de producción primaria, para evaluar su desempeño productivo, las formas de aprovechamiento de los recursos naturales, así como para valorar los esquemas de coordinación vertical: hacia atrás con proveedores, y hacia delante con comerciantes e industriales. Efectivamente, este último esquema de coordinación ha sido la base para establecer tres tipos de productores, por su forma de coordinación. Los tres grupos son: industrial, coordinado-oficial y artesanal. En función de estos grupos se analizan los resultados de la encuesta, la cual se aplicó en ocho municipios: la capital Santiago de Querétaro, Pedro Escobedo, Corregidora, Ezequiel Montes, San Juan del Río, Tequisquiapan, Colón y El Marqués (Figura 1).

Con esa base a continuación se exponen el marco conceptual, aspectos medulares del contexto internacional y nacional, para después examinar la dinámica del sistema lácteo de Querétaro y terminar con las consideraciones finales.

## MARCO DE INTERPRETACIÓN

A continuación se presentan los elementos conceptuales que sustentan el análisis del sistema lácteo de Querétaro.

**La globalización induce nuevas reglas de competencia y coordinación.** Se parte de considerar el sistema lácteo dentro de las confluencias del proceso de globalización, lo que en parte deriva del acentuado proceso

Ubicación de los Valles Centrales de Querétaro

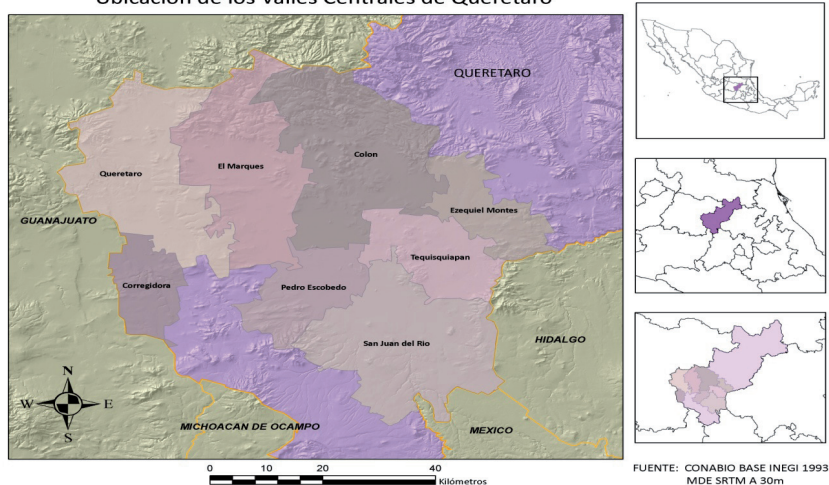


Figura 1. Ubicación de los Valles Centrales de Querétaro.

de liberalización económica que ha experimentado la economía mexicana. A partir de este esquema y de la alta dependencia de este sistema productivo en torno al aprovisionamiento externo de insumos (granos forrajeros y material genético, entre otros), equipo e infraestructura; de materias prima para la industria (leche en polvo y lactosueros) y productos terminados (quesos).

En esa medida el modelo económico plantea a los sistemas productivos mundiales un doble desafío: presiones competitivas crecientes y condicionantes reglamentarias suplementarias (J. Gallego y A. Lammanthe, 2009). En ese sentido, la eficiencia del sistema de lácteos mexicano y, en especial, del de Querétaro está determinado por los costos comparativos en los distintos segmentos de la cadena, por la calidad de sus productos y, en última, instancia, por su capacidad para proveer productos lácteos a la población. Cabe resaltar que los efectos de la economía globalizada inciden en todo el sistema, pero existen segmentos y mercados más influenciados, como el de insumos y bienes de capital, por un lado, y los de procesamiento y distribución por el otro, donde se concentran predominantemente las corporaciones globales. Por ello ciertos segmentos de las cadenas productivas, o parte

de ellos, tienden a coordinarse con los de otros países, como pasa con parte de la producción primaria de Querétaro, que se ha integrado parcialmente al sistema de granos de Estados Unidos. Así, la globalización ofrece grados de libertad para que los segmentos con mayores posibilidades logísticas y financieras se coordinen con esferas de cadenas agroalimentarias de otras regiones y países, para asegurar su abastecimiento en función de criterios como costo, calidad y oportunidad.

Por otra parte, dichos intercambios entre regiones y entre países generan ciertas barreras a la entrada, en el caso de los lácteos una de los principales se observa en términos de calidad e inocuidad, al repercutir en flujos de productos desde los países con normas más estrictas hacia los que poseen normas menos rígidas, y en esa medida México ha favorecido su facultad importadora de lácteos.

Finalmente, otra dimensión de la globalización que interesa destacar reside en la difusión de patrones de producción, mercadeo y consumo. Por ese motivo se enfatiza en la fuerte adopción del modelo Holstein, que ha sido masiva en el país y en la entidad queretana. De igual modo los métodos de procesamiento (leche UTH, por ejemplo) y las formas de consumo (yogur y postres lácteos) han coadyuvado a la homogenización de estas formas de producir y consumir. En esta tendencia también se ubican ciertas formas de coordinación vertical, como el tipo de contratos que predominan entre ganaderos y agroindustrias, dado que funcionan bajo formatos similares en distintas latitudes y paulatinamente se homogenizan más. Estos procesos están favorecidos por las empresas globales, que estandarizan sus formas de fabricación y organización de las cadenas productivas en que participan.

**Los sistemas agroalimentarios como espacio de observación privilegiada.** En ese marco, el sistema de lácteos se adopta como una construcción conceptual, que no tiene referente concreto en la realidad, pero que permite observar a los distintos actores en situación, es decir, participando en la producción, mercadeo, transformación, distribución y consumo de lácteos, en un espacio y momentos dados. En ese marco los

actores adoptan estrategias individuales y ciertos mecanismos de coordinación —horizontal y vertical— para estabilizar sus relaciones. En esa lógica, para conocer la estructura y dinámica de los sistemas productivos se requiere conocer tanto las estrategias individuales como los dispositivos que establecen para facilitar tanto la coordinación vertical como la horizontal, que se denominan convenciones.

**La historia regional permite entender la apropiación de recursos.** La evolución que se detecta en una región permite entender el diseño y formato de las instituciones y convenciones que rigen el accionar y las formas de interacción de los actores, pero también su estatus dentro de una región como la de Querétaro. Así, por ejemplo, los derechos de propiedad y su evolución a lo largo del tiempo, permiten explicar la apropiación de un pequeño grupo de familias de tierras del estado, que por su tamaño, fertilidad y ubicación les permite captar mayores rentas que la media regional. Este proceso ha evolucionado y ha permitido una mayor concentración de la tierra en pocas manos, pero también para otras que han llegado de otras regiones, atraídas por la disponibilidad de agua y que detentan el poder financiero para adquirir tierras irrigadas.

Así, los productores de tipo empresarial disponen de potencial para valorizar la tecnología y obtener altos volúmenes de leche, con la calidad requerida por la industria más exigente. Consecuentemente su capacidad de acumulación les permite escalar a otros segmentos de la cadena productiva, como la de procesamiento de leche, como es el caso de los socios de Alpura, para lo cual han establecido dispositivos contractuales que permite se organicen horizontal (entre los propios socios de la empresa) y verticalmente, para regir las negociaciones con otros actores que trabajan en distintos eslabones del sistema regional.

En el otro lado, por el potencial que les concede su propiedad agraria, los pequeños productores tienen que concentrarse en su producción primaria, donde producen y mercadean de manera diversificada y en canales poco rentables. Por lo mismo, los ganaderos de pequeña escala establecen mecanismos de coordinación vertical más simples y flexibles,

que generalmente son desfavorables a sus causas e intereses, pero que les permite reproducirse económicamente y ser funcionales en el sistema agroalimentario local.

A estos criterios económicos y sociales se agregan los de sustentabilidad, en especial en torno al agua, dado que toda la producción de leche demanda un gran volumen de este recurso y los sistemas de producción, principalmente los de la fase primaria, se vienen relocalizando en función de la disponibilidad de este recurso en una región y dentro de un país. A este precepto se suman la calidad de la tierra, las facilidades logísticas y, en el caso lechero, la cercanía a los centros de transformación y consumo.

**El origen y función de las convenciones en el desarrollo local.** Para estabilizar las relaciones interempresas los actores regionales han generado a lo largo del tiempo dispositivos como las instituciones y los contratos o convenciones que los vinculan y rigen sus estrategias e interacciones comerciales. Así, estos dispositivos condicionan y orientan las acciones de los actores, al menos temporalmente, pues se renuevan o ajustan de manera permanente. En ese entendimiento, las bases y reglas que se plasman en el marco institucional y en los contratos se traducen en relaciones de un sistema productivo y en tanto de una región, que conlleva en cierto grado la identidad de los mismos.

Por esta razón en este trabajo se enfatiza en los contratos o convenciones, como el principal mecanismo de diferenciación de los subsistemas lácteos que se identifican en Querétaro. Las convenciones también sirven como elemento analítico para identificar los márgenes de acción de cada uno de los jugadores involucrados en una relación y, eventualmente, los efectos de dominación que detentan. Cabe destacar que los estudios realizados en los sistemas de lácteos en distintas regiones de México este efecto de dominación tienden a concentrarlo las agroindustrias (A. Cesín, *et al.*, 2009).

En el sistema de lácteos es muy común el funcionamiento de dichas convenciones, ya que la estacionalidad de la producción, el carácter perecedero del líquido y la variabilidad fisicoquímica del mismo hace que entre los actores haya la necesidad de regirse por reglas mínimas, que induzcan



cierto tipo de comportamientos que le brinden estabilidad y funcionalidad a las relaciones que caracterizan a este sistema agroalimentario.

**La pluralidad de mecanismos de coordinación.** En continuidad a lo antes expuesto, resulta que en una región difícilmente funciona un solo sistema productivo, más bien éste —como el lechero—, suele contener distintas modalidades y trayectorias y, en esa medida, conformar distintos subsistemas que en función del tipo de agentes que intervienen, del nivel tecnológico y, en última instancia, del tipo de convenciones que rigen su desempeño. Bajo ese argumento y de acuerdo con J. Gallego y A. Lammonthe (2009) no se puede pensar que la trayectoria de los sistemas agroalimentarios se atengan a *one best way*, más bien ellos tienen una tendencia a la pluralidad de vías y, en ese marco, a una diversidad de esquemas de adaptación.

En ese ámbito, la economía de convenciones indica que la coordinación mercantil, es decir, aquella que funciona a partir del sistema de precios, es tan solo una modalidad de las formas en que los actores modulan sus interacciones. Existen otras formas, de las cuales en este caso se destacan dos: la industrial y la artesanal, dado que son las identificadas en el sistema lácteo de Querétaro. La industrial se refiere a aquella regida por contratos, con reglas concretas en cuanto a horario de entregas de leche a la industria, la temperatura de conservación de la materia prima, el contenido mínimo nutricional y el máximo bacteriológico de la misma, entre otras ponderaciones. La coordinación artesanal se basa en relaciones entre agentes conocidos al actuar en una misma región y aprovechando esa proximidad establecen relaciones de confianza. Este mecanismo tiende a funcionar en productos tradicionales, por lo cual la materia prima posee características intrínsecas que son valoradas en las fases posteriores de un sistema, es decir, en la distribución y consumo final, como suele ocurrir en la producción de queso tradicional.

**La competitividad como resultado del proceso socioeconómico complejo.** La competitividad se ha definido por M. Porter (1997) como *la habilidad de crear y entregar rentablemente valor a través del liderazgo de costos o a través de productos diferenciados*. En esta perspectiva, la

innovación es una de las causas fundamentales de la competitividad al crear vínculos entre los factores que influyen en los costos de producción y en la estructura de la demanda. Sin embargo, esta definición resulta insuficiente para este trabajo, dado que en lechería también incide la estabilidad de la producción y de las transacciones, la calidad del producto, la remuneración equitativa de la mano de obra y la sustentabilidad de los recursos naturales, entre otros. Por tanto, la competitividad es una noción dinámica en el tiempo y se tiene que mantener, generalmente, de forma colectiva, en el seno de complejos productivos.

El nivel de eficiencia general que se construye entre varias empresas es más elevado cuando existen mecanismos sólidos de interacción, es decir, cuando predominan estrategias de cooperación entre ellas. En esa medida, el tipo de convenciones que caracteriza a un sistema productivo influye en la competitividad colectiva.

#### EL MARCO INTERNACIONAL Y NACIONAL DE LA PRODUCCIÓN LECHERA

Como se ha difundido ampliamente, el sistema alimentario mundial se encuentra en una notable transformación, que se ha expresado en sensibles variaciones de los precios de materias primas y productos en los últimos años. Esta situación inédita deriva de factores exógenos como la crisis económica de EE.UU., las elevadas cotizaciones del petróleo, acero y otros productos clave para la economía mundial. De igual forma ha sido determinante el espectacular crecimiento de algunas economías emergentes, como China e India, que se han expresado en una demanda de todo tipo de productos en el mercado mundial, destacadamente de alimentos. No menos importante ha sido los efectos del cambio climático, que han afectado el aparato productivo de grandes proveedores de materias primas y alimentos como Australia, Argentina y Brasil, por citar algunos de los ejemplos más conocidos.

La desviación de algunos productos agrícolas —especialmente maíz— para la producción de biocombustible ha desencadenado cierta escasez y encarecimiento de este insumo. Hasta mediados de 2006 el precio internacional de maíz rondaba los US \$100-120 por tonelada, no obstante, seis meses después rebasaba los US\$170. Revelándose en las proyecciones del USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos, por sus siglas en inglés) que el precio de ese producto no regresará a sus niveles previos de 2006, sino que incluso se elevará. Al margen de como se precisen estas tendencias, este hecho ha significado una presión en los costos de producción para los sistemas ganaderos, especialmente para los sistemas intensivos que consumen grandes volúmenes de maíz y otros granos, que aumentaron su precio en paralelo al del maíz.

De igual forma a nivel internacional, los productos lácteos conocieron un precio muy elevado en 2007 y en parte de 2008, para después descender drásticamente, aunque desde fines de 2009 éstos se han incrementado (Figura 2). Esta oscilación de precios afecta a países dependientes del mercado internacional, como México, ya que por un lado se encarecen las importaciones, y por otro, se genera un efecto inflacionario en el mercado interno, ya que los precios internos se rigen por los internacionales. Esta tendencia se puede acentuar en el futuro, ya que el comercio crece más rápidamente que la producción (Figura 3).

En lo que concierne al mercado mexicano, se aprecia que la producción nacional de leche ascendió en 2009 a 10 millones 805 mil litros. El ritmo de crecimiento de la producción nacional ha sido de 3.2% anual entre 1990 y 2007 (Cuadro 1). Esta producción ha sido insuficiente para satisfacer la demanda nacional, por lo cual se tiene que completar con diversas importaciones de leche descremada en polvo, lactosueros y quesos, que en conjunto representan entre 30 y 35% de la disponibilidad nacional en los últimos años.

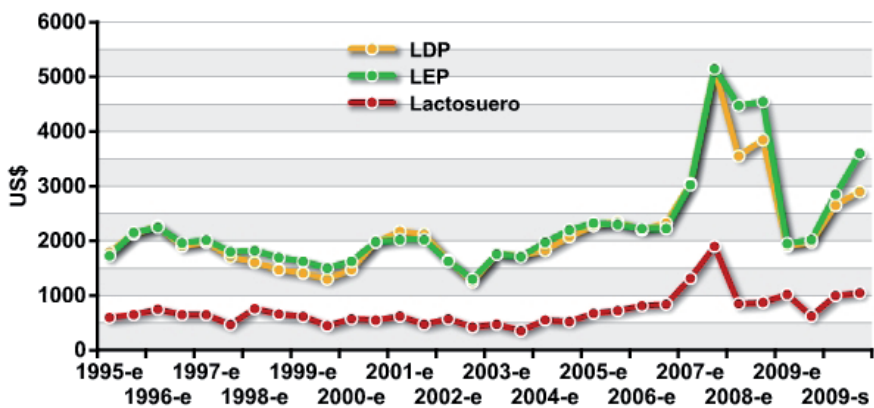


Figura 2. Precios internacionales de lácteos 1995-2009

Fuente: USDA, 2010

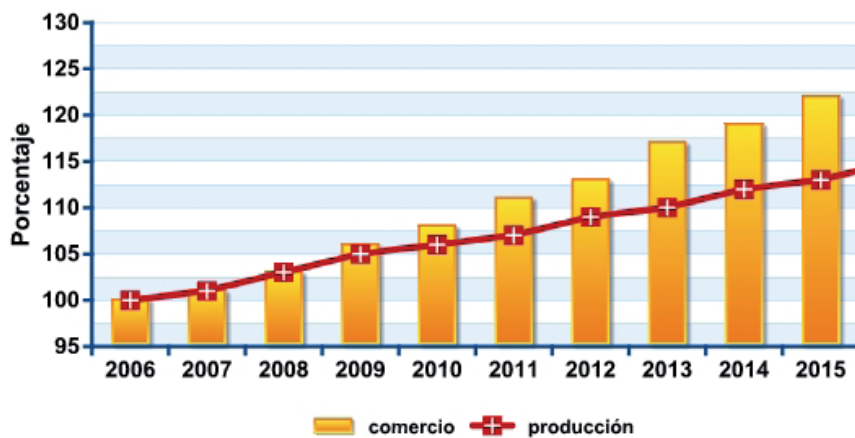


Figura 3. Tendencias comercio y producción lácteos mundiales

Fuente: Rabobank, 2008

Cuadro 1. Producción de leche en México, 1990-2009  
(Miles de litros)

Año	Producción Nacional
1990	6,141,545
1991	6,717,115
1992	6,966,210
1993	7,404,078
1994	7,320,213
1995	7,398,598
1996	7,586,422
1997	7,848,105
1998	8,315,711
1999	8,877,314
2000	9,311,444
2001	9,472,293
2002	9,658,282
2003	9,784,355
2004	9,864,320
2005	9,868,302
2006	10,088,551
2007	10,345,982
2008	10,600,854*
2009	10,805,372**

\*Dato preliminar \*\* Dato estimado. Fuente: SIAP, SAGARPA; 2009

El crecimiento de la producción de leche en México ha sido muy variable, como se muestra en el Cuadro 2, siendo remarcable que los periodos de mayor crecimiento coinciden con los de mayor apertura comercial, lo que se explica porque han sido momentos en que los sistemas intensivos se han podido aprovisionar de alimentos balanceados para el ganado, material genético, agroquímicos y un sinfín de insumos y equipo.

En sentido contrario, los periodos más difíciles para la lechería nacional coinciden con los de mayores turbulencias en el mercado nacional y, en especial, cuando se deprecia la moneda nacional, al encarecerse las

importaciones. Así, durante este siglo el ritmo de crecimiento de la producción nacional ha sido más lento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variación de la producción nacional de leche, 1989-2005

Quinquenio	Variación (%)	TMCA
1989-1993	32.8	7.2
1993-1997	6.0	1.5
1997-2001	21.2	4.9
2001-2005	4.0	0.99
2006-2009	1.2	1.2

Fuente: SIAP, Sagarpa; 2008

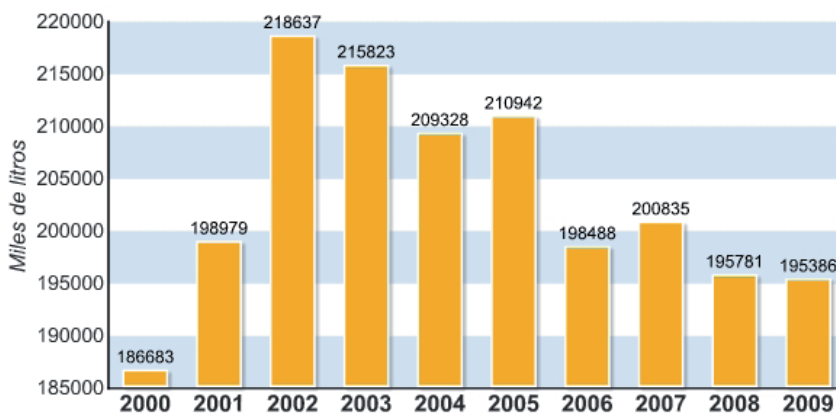


Figura 4. Evolución de la producción en el Estado de Querétaro, 2002-2009

Fuente: SIAP, Sagarpa; 2009

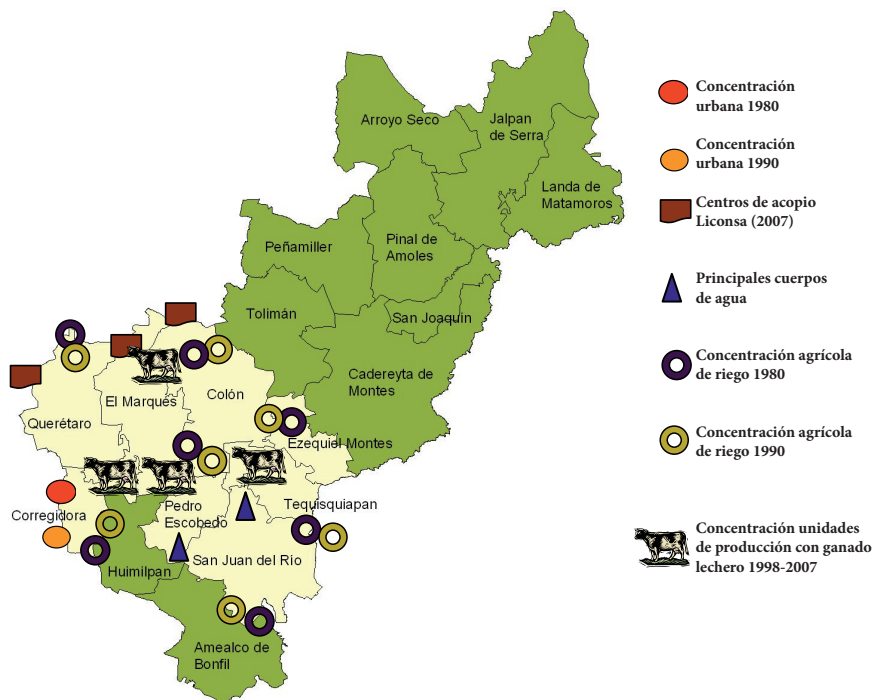
## EL SISTEMA LÁCTEO DE QUERÉTARO

El estado de Querétaro se reconoce territorialmente por su privilegiada ubicación geográfica y porque dispone de rentas de localización (como su cercanía a la zona metropolitana de la Ciudad de México) y de recursos naturales privilegiados, incluido el saber-hacer de la población.

Ahora bien, enfocando la producción de leche en la entidad se aprecia un comportamiento oscilante (Figura 4), que en 2009 tuvo un volumen estimado de 196 millones de litros; que es 12% inferior al máximo histórico del territorio, registrado en 2002.

La zona de Valles Centrales, base espacial de este estudio, concentra 81% de la población total y significa 30% de la superficie administrativa. Esta zona se eligió por la existencia de una alta conglomeración agro-productiva, que responde y crece por la demanda de forrajes para el ganado, casi exclusivamente lechero, es decir, Holstein, y que a su vez se le reconoce como una de las áreas con mayor influencia compradora de alimento animal en las localidades vecinas de Guanajuato y San Luis Potosí.

Históricamente en este valle se reconoce la tradición lechera y desde las haciendas ha mostrado un dinámico desarrollo, que solo fue coartado por el movimiento revolucionario a principios del siglo XX. Más adelante con el impacto de la revolución verde y la infraestructura de riego se elevó significativamente el potencial productivo de la región, aunque éste se ha concentrado en pocos actores económicos.



**Figura 5.** Ubicación y evolución de Valle Central de Querétaro

Elaborado con bases Depto. Análisis e Integración Regional Continental-Semarnat y SIAP-Sagarpa, 2007

A la par, este valle exhibe un acentuado desarrollo industrial, con empresas ligadas a las cadenas aerodinámica, automotriz, electrónica y cerámica, entre otras. Al mismo tiempo el auge de los desarrollos habitacionales ha desplazado paulatinamente la producción agropecuaria y, por tanto, amenaza el desarrollo de las unidades de producción lechera.

Esta dinámica regional separa a la entidad en al menos dos grandes momentos históricos, la *primera fragmentación*<sup>2</sup> del territorio enmarcada en la implantación del modelo industrializador urbano, con amplios contrastes entre campo-ciudad<sup>3</sup> y el de *fragmentación neoliberal*,<sup>4</sup> a partir de la cual se reemplazaron parcialmente las cadenas productivas con un modelo de expansión orientado al abastecimiento del mercado nacional, por otras dirigidas a la exportación, en las cuales destaca el binomio forraje-leche. Lo que se ha facilitado por sus tierras fértiles y abundancia de agua (Figura 5) y la progresiva incorporación de tecnología e infraestructura para toda la cadena de lácteos.

Con estos antecedentes a continuación se exponen los resultados por subsistemas lecheros en el estado de Querétaro, adoptando el tipo de coordinación vertical que establecen los ganaderos con la agroindustria como variable distintiva. En primer lugar destaca el modelo de integración que se ha dado entre los productores empresariales que participan en el procesamiento de la leche a través de la empresa Alpura, que es la segunda firma más importante del país en procesamiento de leche fluida. En este caso, las relaciones están codificadas en cuanto a horarios de entrega, precios pagados y primas adicionales por calidad de la leche, que influyen en el ágil flujo del producto a lo largo de la cadena.

En el subsistema coordinado oficial sobresale la participación de la industria paraestatal Liconsa, que compra la leche a productores organizados de tipo familiar, con contratos informales o convenciones, bajo

1 B. Ramírez, 1995 y A. Serna, 2006.

2 Un claro ejemplo es la configuración de la franja industrial y comercial conocida como corredor Querétaro-San Juan del Río; para más detalles García Ugarte, 1999.

3 B. Ramírez, 2002 y A. Serna, 2006.



precios y criterios de calidad preestablecidos. El producto final es leche industrializada (reconstituida) que se destina a programas sociales, para estratos de población de bajos ingresos. Finalmente, el subsistema artesanal se distingue por relaciones basadas en la confianza y proximidad de los actores que interactúan, con precios estacionales y bajas exigencias de calidad. En este caso el producto final es leche fluida sin procesar y una variedad de quesos tradicionales.

Con base en esta tipología se presentan los principales resultados de la encuesta aplicada a actores que participan en los subsistemas lácteos en el estado de Querétaro.

**Aspectos socioeconómicos de los productores primarios.** La edad promedio de los ganaderos es de 47 años, prácticamente sin diferencia entre estratos, por lo que se puede sostener que se trata de productores maduros, pero con apertura para introducir innovaciones en sus unidades productivas. Esta opción se refuerza por un nivel de estudios más que aceptable, aunque con diferencias entre estratos. El sector de ganaderos del sistema industrial se coloca en un nivel universitario y de posgrado, que les permite gestionar con mayor capacidad sus empresas. Este porcentaje se reduce notablemente para los productores del sistema artesanal y, más aún, en los del sistema coordinado-oficial (Cuadro 3). Esta variable de capital humano explica parte de las diferencias de eficiencia y competitividad entre subsistemas.

**Cuadro 3.** Nivel de estudio de los ganaderos según tipo de integración, 2008 (porcentaje)

Subsistema	Grado medio	Grado universitario	Posgrado
Industrial	30	53	10
Coordinado-oficial	90	5	0
Artesanal	40	20	0
Total (n=32)	38	34	6

La suma no da 100% porque el valor faltante corresponde a educación básica

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en el modelo industrial los productores reconocen que 98% de sus trabajadores son asalariados y solo 2% son familiares (sin devengar salario). Mientras en los otros dos estratos de productores el 100% dispone de mano de obra familiar no remunerada, lo que también marca una diferencia notable.

En cuanto a la forma de producir, se detecta una fuerte tendencia al sistema estabulado, ya que los dos primeros estratos llevan bajo este régimen su producción, lo que se facilita porque la gran mayoría dispone de un rancho anexo, donde obtienen productos forrajeros (Cuadro 4). En cambio, entre los productores del arquetipo artesanal predomina el sistema mixto, donde estacionalmente el ganado se alimenta en zonas de pastoreo y aprovechando residuos agrícolas.

**Cuadro 4.** Tipo de manejo de la unidad productiva según tipo de integración, 2008 (porcentaje)

Subsistema	Manejo estabulado	Tipo mixto (semi-estabulado)	Rancho anexo de agricultura
Industrial	100	0	80
Coordinado-oficial	100	0	87
Artesanal	33	67	10
<i>Total (n=32)</i>	78	22	86

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la superficie disponible para los productores en promedio se tienen 30 ha de riego y 9 ha de temporal, aunque con sensibles variaciones. Los ganaderos del subsistema industrial poseen en promedio 84 ha irrigadas y 10 ha de temporal, mientras que los dos estratos siguientes no llegan a 10 ha de riego en promedio (Cuadro 5). Esta distribución del recurso tierra es fundamental en los niveles de eficiencia contrastantes que se observarán más adelante.

**Cuadro 5.** Tipo de superficie de los ganaderos según tipo de integración, 2008.

(Hectáreas)

Subsistema	Sup. Total riego	Sup. Total temporal
Industrial	84	10
Coordinado-oficial	8	3
Artesanal	9	12
<i>Promedio (n=32)</i>	30	9

Fuente: Elaboración propia

El nivel de eficiencia que se detecta en las unidades de producción primaria se basa en la producción anual de leche por vaca, en donde el promedio es de 5,937 litros para la región, sin embargo, los del subsistema industrial suben a poco más de 6,700 y los del subsistema coordinado-oficial registran 6,100 quedando los de tipo artesanal apenas en 5,000. Diferencia por demás notable, ya que deriva del manejo animal y su combinación con otros indicadores, como la duración de la lactancia y días abiertos (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Parámetros productivos según tipo de integración, 2008

Subsistema	Litros vaca/año	Lactancia (días)	Días abiertos (para I.A) días
<b>Industrial integrado</b>	6710	305	110-120
<b>Coordinado-oficial</b>	6100	299	120-125
<b>Artesanal</b>	5000	290	125-150
<b>Total (n=32)</b>	5937	298	125

Fuente: Elaboración propia

Otro factor clave que se relaciona con la descendencia animal y los rendimientos esperados es el tipo de semen usado. Los ganaderos del subsistema industrial recurren en gran medida al semen extranjero, que generalmente es de animales probados genéticamente, y cada vez más se utiliza semen sexado, que aumenta sensiblemente la proporción de hembras, no obstante que requiere de vaquillas de buena calidad y mayor costo por este concepto. Por ese motivo, también se usa semen nacional y el que deriva de sementales que se crían en la propia unidad productiva. Esta última clase de semen es la que predomina en los otros dos estratos de ganaderos, como se aprecia en el Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Tipo de semen que usan los ganaderos según tipo de integración, 2008 (porcentaje)

Subsistema	Usa semen-ganado local	Usa semen-ganado nac.	Usa semen-ganado extranjer.
Industrial	50	20	47
Coordinado-oficial	80	10	10
Artesanal	80	11	9
<i>Total (n=32)</i>	<i>70</i>	<i>10</i>	<i>20</i>

Nota: La suma puede ser más de 100 por ciento por tratarse de opciones no excluyentes.

Fuente: Elaboración propia

En lo referente al canal comercial que utilizan los ganaderos, las diferencias son notables. Así, entre los del subsistema industrial predomina la venta de leche a Alpura (Cuadro 8), dado que la mayoría son socios de la misma. Circunstancia que repercute para obtener mejores precios unitarios y ganancias adicionales por transformar y envasar leche.

En cuanto al subsistema coordinado industrial, los ganaderos transfieren su producto a la empresa gubernamental Liconsa, la cual ofrece un precio preestablecido, pero obliga a los productores a entregar su leche en un centro de acopio, con ciertas normas de calidad, aunque éstas son menos exigentes que las de Alpura. Es de destacar que la presencia de Liconsa en el estado de Querétaro es relativamente reciente (cinco años atrás), pero ha significado una oportunidad para los ganaderos de contar con un canal comercial seguro; además, ha incidido en la estructura del mercado regional en la medida que puede impulsar al alza de precios en forma generalizada, beneficiando los productores medianos y de pequeña escala.

Finalmente, en el mismo Cuadro 8 se observa que los productores del subsistema artesanal comercializan su leche de manera autónoma, es decir, a través de la venta directa a consumidores (*boteo o litreo*), o por la transformación del producto en queso o yogur, con el fin de reducir el carácter perecedero de la materia prima y ampliar su espectro de clientes. Este último canal comercial implica que los ganaderos o miembros de su familia participen en la transformación y venta de leche y derivados, lo cual aumenta los costos de transacción.

**Cuadro 8.** Canal comercial de los ganaderos según tipo de integración, 2008 (porcentaje)

<b>Subsistema</b>	<b>Vende ALPURA</b>	<b>Centro acopio- Liconsa</b>	<b>Botero o autotransformac.</b>	<b>Otros</b>
<b>Industrial</b>	93	0	0	7
<b>Coordinado- oficial</b>	0	90	10	0
<b>Artesanal</b>	0	10	77	13
<b>Total (n=32)</b>	35	47	12	6

Fuente: Elaboración propia

En cada canal comercial es posible acceder a precios diferentes (Cuadro 9), lo que permite retribuir el esfuerzo al nivel de la unidad de producción primaria, pero también generar capacidades de acumulación y, a la par, de reinversión. En ese sentido, los productores del subsistema industrial logran el mayor precio por litro de leche, con \$5.14, al cual se le agregan importantes primas de calidad, que aumentan este precio en alrededor de 15%. Los ganaderos que venden a Liconsa registran un precio de \$4.31, el cual puede aumentar alrededor de 7% por primas de calidad, aunque esto suele ser restrictivo para la mayoría de los productores, pues difícilmente cubren los contenidos y la calidad bacteriológica de la leche establecidos por la paraestatal. Por último, los productores del subsistema artesanal alcanzan cotizaciones incluso más elevadas que los del estrato anterior (Cuadro 9), aunque incurren en mayores costos de transformación y venta.

**Cuadro 9.** Precios que captan los ganaderos según tipo de integración, 2008

<b>Subsistema</b>	<b>Precio base/L</b>
<b>Industrial</b>	5.14
<b>Coordinado-oficial</b>	4.31
<b>Artesanal</b>	4.80
<b>Total (n=32)</b>	4.75

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de precios es muy cercano al costo de producción que registran los ganaderos de los subsistemas coordinado-oficial y artesanal, lo que limita su posibilidad de modernizar sus unidades productivas y elevar su

nivel de vida. Para los ganaderos del subsistema industrial las condiciones son menos difíciles, pues logran captar ganancias brutas de entre 25 y 30%. Además, en su calidad de socios de Alpura tienen acceso a créditos a tasas preferenciales, insumos y equipos a costos reducidos, asesoría técnica y, conforme a lo expuesto, certeza en un mercado seguro, además de las ganancias en conjunto como socios de dicha agroindustria.

### **Consideraciones finales**

En el presente estudio ha quedando en evidencia que la noción de sistema lácteo es insuficiente para representar la diversidad de trayectorias y modelos de coordinación vertical que se distinguen en los Valles Centrales de Querétaro.

En ese marco resulta que la evolución de la región de estudio y del tipo de relaciones sociales que se han confeccionado en un largo periodo, repercuten en una desigual distribución de recursos, especialmente tierra y agua. Sobre esa base se han construido tres tipos de subsistemas, que se distinguen por el tipo de coordinación vertical y su correspondiente dispositivo contractual, que revela una distinta inserción en el mercado, así como posibilidades de desarrollo diferenciales, que favorecen a los productores más capitalizados que funcionan en el sistema industrial.

En esa medida se tienen condiciones competitivas originales muy distintas, que han servido para fincar y ampliar a lo largo del tiempo las diferencias que muestran los distintos estratos de productores y, más ampliamente, los subsistemas identificados. Estas discrepancias se expresan en la educación formal de los ganaderos, el origen del ganado y material genético, el equipo e infraestructura y la asesoría técnica.

En ese marco, las estrategias seguidas por los actores también han sido diferentes. Los productores más capitalizados han recurrido a la organización empresarial, aprovechando su posición en la jerarquía del territorio y, por ende, en sus relaciones económicas y políticas, que han redundado en conformar una empresa tan relevante como Alpura. En tanto, los productores del subsistema coordinado-oficial, han logrado más recientemente

acuerdos con el gobierno y se han vinculado a Liconsa, para lo cual han debido organizarse y mejorar la calidad de su producto a través de cambios tecnológicos. Finalmente en el subsistema artesanal, con estrategias más flexibles, los productores se han mantenido a un mercado estrecho y amenazado por los lácteos industrializados, pero que sigue mostrando posibilidades de expansión.

Aunque poco destacado en este documento, cabe subrayar que desde los poderes públicos se ha consolidado la estructura dual de este sistema lácteo. Empero, al promocionar un sistema como el Holstein se corren riesgos de deteriorar recursos como suelo y, sobre todo, agua, por lo que existe una clara amenaza a la sustentabilidad de la producción estatal.

Se concluye que no se ha repercutido en una ganadería competitiva en el sentido amplio del término, pues ni la producción crece sostenidamente, ni el nivel de vida de la mayoría de los ganaderos muestra signos de progreso. Sin embargo, existe cierto nivel de organización, principalmente de tipo empresarial, que necesita ampliarse y consolidarse para que los productores primarios influyan con más decisión en la gestión y regulación del sistema de lácteos regional, y solo así mejorar los estándares de sustentabilidad, equidad y competitividad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Benko G. (2006). "Distritos industriales y gobernanza de las economías locales. El caso de Francia". Serie: experiencias internacionales y desindustrialización. En: *Revista de Economía Industrial*, 359: 113-125.
- Bisang R. y Gutman G. (2005). "Acumulación y tramas agroalimentarias en América Latina". En: *Revista de la Cepal*, 87: 115-129.
- Camagni R. y Maillat D. (Comps.) (2006). "Milieux innovateurs. Théorie et politiques". En: *Economica Anthropos*. 447 pp.
- Cesín A., Cervantes F. y Álvarez A. (Coords). (2009). *La lechería familiar en México*. Ed. Porrúa, México, D. F., 291 pp.

- Delgadillo J. (Coord.) (2006). "Enfoque territorial para el desarrollo rural en México". El Colegio de Tlaxcala, UAGRO, CRIM e IIEc-UNAM. 518 pp.
- Gallego Bono J. y Lamanthe A. (2008). "Relations de pouvoir et régulations extra-locales dans l'adaptation des systèmes agroalimentaires au contexte de mondialisation. Une étude de cas France/Espagne". *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*, 90 (2), 185-213.
- García Ugarte M.E. (1999). "Breve Historia de Querétaro". En: *Serie: breves historias de los estados de la República Mexicana*. Fideicomiso Historia de las Américas, Fondo de Cultura Económica y Colegio de México. México. 292 pp. Groupe de Recherche Européen sur les Milieux Innovateurs (GREMI). [www.unine.ch/irer/Gremi/publications.htm](http://www.unine.ch/irer/Gremi/publications.htm)
- Méndez R. (2006). "La construcción de redes locales y los procesos de innovación como estrategias de desarrollo rural". En: *Revista Problemas del Desarrollo*, vol. 37 núm. 147 (octubre-diciembre). Pp. 217-240.
- Porter M. (1997). *Estrategia competitiva. Técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia*. Editorial Continental. 23ª reimpresión.
- Ramírez B. (2002). "Globalización, desarrollo lechero y organización espacial: tendencias, inercias y reestructuración económica-territorial". En: *Memorias del seminario internacional: nuevas tendencias en el análisis socioeconómico de la lechería en el contexto de la globalización*. UAEM, CIESTAAM-UACH y UAM-X. México. Pp. 53-63.
- Ramírez B. (1995). *La región en su diferencia: los Valles Centrales de Querétaro 1940-1990*. México. Edit. Red Nacional de Investigación Urbana, UAM-X UAQ.
- Raveaud G. (2005). "L'économie de conventions: théorie pragmatique ou méthode radicale?". En: *Documents de travail, serie Regles, Institutions, Conventions, N°5-03, Institutions et dynamiques historiques de l'économie*, CNRS, Cachan, Francia, 13 pp.
- Requier-Desjardins D. (2007). *Les Dynamiques territoriales, débats et enjeux entre les différents approches disciplinaires. L'évolution de débat sur les SYAL: le regard d'un économiste*. XLIII<sup>e</sup> colloque de l'ASRDLE, Grenoble-Chambéry, 11,12 y13 juillet 2007.
- Serna A. (2006). "Los procesos urbano regionales del campo queretano, 1960-2000". Tesis de Doctorado en Ciencias Sociales (Sociedad y Territorio) CSH-UAM, Xochimilco. 341 p. + anexos.
- SIAP-Sagarpa (2009). *Boletín de la Leche*, julio-septiembre, México, D.F., 66 pp.



# NUEVOS ENFOQUES PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS AGRO-SILVO-PASTORILES: ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD Y MODELOS DE SIMULACIÓN

*B. Díez-Unquera<sup>1</sup>, R. Ripoll-Bosch<sup>2</sup>, R. Ruiz<sup>1</sup>, D. Villalba<sup>3</sup>,  
A. Olaizola<sup>4</sup>, I. Blasco-Aramendía<sup>2</sup>, G. Ripoll<sup>2</sup>,  
A. Sanz<sup>2</sup>, I. Casasús<sup>2</sup>, M. Joy<sup>2</sup>, I. Beltrán de Heredia<sup>1</sup>,  
F. Ameen<sup>4</sup>, E. Molina<sup>3</sup>, A. Bernués<sup>2</sup>*

**RESUMEN** El futuro de la agricultura, y en particular de la producción animal, es objeto de un intenso debate público y científico que gira alrededor de la sostenibilidad de los sistemas de producción. La sostenibilidad implica la capacidad de autorreproducción de los elementos esenciales —económicos, ambientales y sociales— de una determinada explotación o sector productivo, teniendo en cuenta las relaciones con el entorno socio-económico, cultural, político, de mercado, etc., que es crecientemente determinante y está sometido a cambios constantes y frecuentemente imprevisibles. En este trabajo se presentan dos ejemplos ilustrativos de metodologías aplicadas al análisis sistémico en ganadería de rumiantes en el norte de España. En el primer caso, se aplica el marco de evaluación MESMIS de sostenibilidad y manejo de recursos en sistemas ovinos con diverso grado de intensificación

1 NEIKER Tecnalia. Granja Modelo de Arkaute, Carretera N-1, km 355, 01192 Arkaute, Vitoria-Gasteiz, España

2 Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza, España. abernues@aragon.es

3 Universidad de Lleida. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Avda. Rovira Roure Nº 177, 25198 Lleida, España

4 Universidad de Zaragoza. Departamentos de Agricultura y Economía Agraria. Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza, España

y orientación productiva. Se describe someramente el proceso de recogida de información, elección de puntos críticos e indicadores y valoración de atributos de sostenibilidad en las áreas ambiental, social y económica. En el segundo caso, se describe brevemente el programa de simulación dinámica NODRIZA para rebaños de vacuno de carne y se presentan resultados de evaluación de alternativas de manejo de rebaño y recursos de pastoreo en condiciones de montaña desde diversas perspectivas: técnica, económica, mano de obra y uso de la tierra.

**Palabras clave:** análisis de sistemas, MESMIS, programa NODRIZA, ovino, vacuno de carne, España

**SUMMARY** The future of agriculture and animal production in particular has become a fundamental issue of public and scientific debate. Sustainability of farming systems is placed in the centre of this debate. Sustainability implies the capacity of self-reproduction of any essential component –economic, environmental and social- of a farm, region or industry in relation of its socio-economic, cultural, political, and market environment. This environment is increasingly influential and changes occur frequently and often are unpredictable. In this paper we present two examples illustrating methodologies applied to the systemic analysis of ruminant farming systems in the north of Spain. In the first example, we use the MESMIS framework to assess the sustainability of a number of sheep farms with different degree of intensification and productive orientation. We briefly describe the data collection, the identification of critical points and indicators, and the assessment of sustainability attributes in environmental, social and economic dimensions. In the second example, we present the software NODRIZA for simulation of beef cattle herds and its application to the evaluation of long-term performance of mountain farms under diverse feeding, reproductive and land use management strategies. Trade-offs between production, economics, land use and labour are briefly discussed.

**Key words:** systems analysis, MESMIS, NODRIZA software, sheep, beef cattle, Spain

## INTRODUCCIÓN

El futuro de la agricultura, y en particular de la producción animal, se encuentra en la actualidad en un proceso de intenso debate público y científico. Dicho debate gira alrededor de la sostenibilidad de los sistemas de producción y de la incidencia de factores de cambio global tales como la evolución de la población mundial, las oscilaciones en los mercados de materias primas y energía, la seguridad y soberanía alimentaria, el cambio climático, los servicios ambientales que los agro-ecosistemas aportan a la sociedad, entre otros. Dichos factores se encuentran frecuentemente interconectados, de manera que no pueden considerarse de manera aislada y se encuentran en permanente cambio.

El concepto de sostenibilidad implica la “reproducibilidad” o capacidad de autorreproducción de los elementos esenciales —económicos, ambientales y sociales— de un determinado sistema (Thompson y Nardone, 1999). Por tanto, incorpora el tiempo como elemento esencial en su propia definición, puesto que considera conjuntamente las demandas sociales actuales y futuras, y estas demandas no son homogéneas ni estáticas. Además, para el caso de las explotaciones agrarias, el entorno, entendido éste en sentido amplio, es crecientemente determinante y sometido a cambios constantes y muchas veces imprevisibles. Dicho entorno está definido, entre otros factores, por las políticas agrarias y otras políticas sectoriales; por los mercados de insumos y productos y las tendencias de consumo; por las nuevas funciones reconocidas de la agricultura y las demandas éticas de la sociedad; la evolución de otros sectores económicos; la globalización de los mercados y los acuerdos internacionales; y por aspectos de cambio global relacionados con cambio climático, la dinámica poblacional, o la creciente escasez de energía fósil (Figura 1).

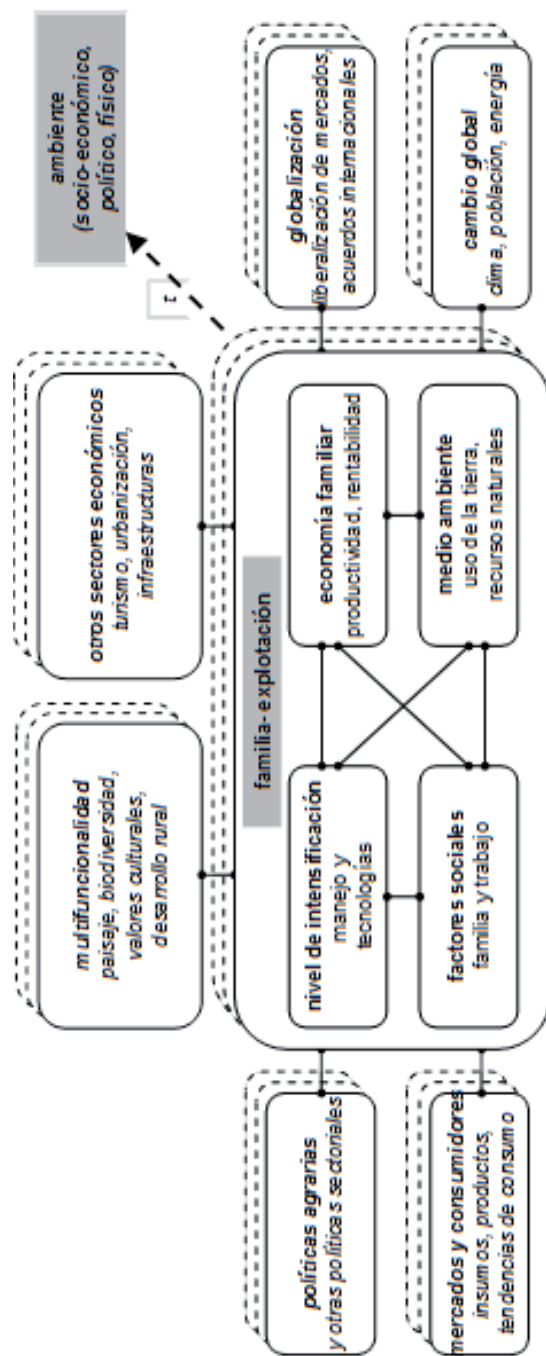


Figura 1. Marco conceptual para el análisis de sostenibilidad de agro-ecosistemas  
Fuente: Modificado de Bernués (2007)

Así pues, es necesaria una perspectiva holística e integradora para alcanzar un conocimiento sistémico de los múltiples fenómenos que determinan la sostenibilidad de los agro-ecosistemas. Los sistemas agro-silvo-pastoriles, de carácter eminentemente familiar y ligados al territorio, deben considerarse no solo como procesos productivos, sino como actividades humanas, por lo que debemos considerar una amplia variedad de factores técnicos, productivos, económicos, ambientales y sociales de la explotación y la familia y del contexto que las rodea. La teoría sistémica ofrece el marco metodológico idóneo para el análisis de las explotaciones agrarias, ya que expresa con fidelidad la naturaleza de sus diferentes actividades. En este marco, la explotación se ha definido como un sistema de actividades y objetivos diversos del grupo familiar que la dirige en función de su propio proyecto y de diferentes restricciones, por ello, no contempla solo la actividad productiva agraria, ni responde a criterios simples y uniformes de optimización, y podemos comprender sus decisiones y necesidades a partir de la visión que tienen los agricultores de sus objetivos y situaciones (Osty (1878), citado por Bernués *et al.* (1995)).

Como todo sistema, la explotación ganadera puede describirse bajo el aspecto estructural (organización de sus elementos constituyentes) o bajo el funcional (procesos y fenómenos dependientes del tiempo). Dicho de otro modo, en un análisis sistémico pueden utilizarse técnicas estáticas o descriptivas, que realizan un diagnóstico instantáneo de una explotación, región o sector productivo; y técnicas dinámicas o prospectivas, que incorporan el tiempo y permiten el estudio de efectos dependientes del mismo, siendo capaces por tanto de analizar a priori los efectos de diversos escenarios o estrategias de manejo sobre los sistemas.

En este trabajo se presentan someramente dos ejemplos ilustrativos de aplicación de estas aproximaciones metodológicas a sistemas de explotación ganadera de rumiantes en el norte de España.

### **Importancia y problemática de los sistemas de ovino en España**

En términos generales, la importancia de los pequeños rumiantes en España y otras zonas de la cuenca mediterránea ha radicado tradicionalmente en su especial significación social, económica y ecológica. Al tratarse de sistemas de producción basados en el aprovechamiento de áreas y recursos naturales de escaso interés para otras actividades productivas, éstos han jugado un papel decisivo en el modelado del paisaje y el mantenimiento de determinados ecosistemas, al tiempo que contribuía de manera determinante en la fijación de población en amplias zonas del territorio consideradas como desfavorecidas.

Esta amplia distribución, unida a la enorme dependencia del medio en que se encuentra, hace que haya una importante diversidad de sistemas productivos, generalmente muy ligados además a diferentes razas autóctonas. Por ello, la producción de ovino ha supuesto un sector estratégico prácticamente para todas las regiones españolas, no solo como fuente de alimentos de calidad sino como fuente de riqueza y por su papel fundamental en el mantenimiento y la gestión del paisaje.

Hay varios aspectos destacables que caracterizan los sistemas de producción de ovino:

- están basados en el aprovechamiento de recursos naturales locales: desde pastos naturales diversos (herbáceos, arbustivos, etc.) hasta residuos de otras actividades agrarias (cultivos, rastrojos, pulpas, etc.);
- tienen una marcada estacionalidad de la producción, y consecuentemente importante fluctuación en los precios de los productos obtenidos a lo largo del año;
- presentan gran dependencia de las subvenciones, especialmente en el caso de los sistemas de aptitud cárnica;
- dependen excesivamente de las condiciones climáticas (en los sistemas de carne) y del coste de los piensos (en sistemas lecheros intensificados);

- sufren falta de relevo generacional, envejecimiento de la mano de obra y excesiva dependencia de la figura del pastor, todo esto agravado por la escasa valoración social de esta profesión y la falta de formación profesional adecuada.

La actividad ovina está presente en aproximadamente 80% de los municipios españoles; con una cabaña nacional que ha experimentado un notable crecimiento durante las últimas décadas: en 1970 había 17 millones de ovejas; 20,3 millones en 1987, y 24,3 en 2001. Sin embargo, a finales de 2008 el censo nacional había descendido de nuevo a 20 millones de cabezas (aproximadamente 25,6% del censo de la UE-25), de las que 85% son de orientación cárnica y 15% lechera. El sector se encuentra inmerso en un proceso de pérdida de censo (10,1% entre 2007 y 2008, si bien el ovino de leche aumentó en 2,3% en el mismo periodo) y de explotaciones, las cuales han descendido desde las 105,600 del año 2000 a las 77,110 del año 2007 (-27%) (MARM, 2009). El sector aporta aproximadamente 12% del Producto Interior Bruto ganadero del país.

El ovino en España, quizá más que el resto de especies ganaderas, se encuentra inmerso en una situación de gran incertidumbre. A los factores descritos anteriormente hay que sumar que las explotaciones tienen, de modo generalizado, índices de productividad bajos, así como falta de estructuras y canales de comercialización adecuados, lo que contribuye a que las rentas derivadas de la actividad sean de las más bajas del sector agrario. Esta situación se produce a pesar de que el sector ha experimentado un proceso más o menos generalizado de intensificación, aunque no siempre acompañada de mejores resultados económicos (Pérez *et al.*, 2007).

En estos momentos es prioritario para los intereses generales del sector centrar el debate sobre los aspectos relacionados con el desarrollo rural y la gestión del territorio y de los recursos naturales, así como la problemática relacionada con la sostenibilidad social (desaparición de explotaciones, condiciones de trabajo, calidad de vida, etc.) y económica de las producciones (descenso en las rentas, pérdida de capacidad adquisitiva, etcétera).

### **Marco de evaluación de sostenibilidad MESMIS**

La sostenibilidad es un concepto complejo y multifactorial que abarca diferentes aspectos de los sistemas, que dificultan su cuantificación. Con el objetivo de evaluar dicha sostenibilidad se han desarrollado metodologías que estudian los agro-ecosistemas en su plano económico, ambiental y social. Entre ellas, el Marco para la Evaluación de Sostenibilidad y Manejo de Recursos Naturales - MESMIS (Maserá *et al.*, 2000) plantea realizar la evaluación mediante indicadores basados en atributos que reflejen los diversos aspectos de la sostenibilidad, con un enfoque sistémico intuitivo, multidisciplinar y contando con la participación de los actores implicados en los sistemas.

El MESMIS define la sostenibilidad a partir de cinco atributos generales de los sistemas:

- Productividad: es la capacidad del agro-ecosistema para brindar el nivel requerido de bienes y servicios.
- Estabilidad: la capacidad del sistema para mantener de manera más o menos constante en el tiempo, y bajo condiciones normales, un determinado nivel de productividad. Recoge también aspectos de Resiliencia: capacidad de retornar a la situación de equilibrio o a los niveles de productividad similares a los iniciales, después de sufrir perturbaciones graves; y Confiabilidad: propiedad de mantener la productividad en niveles cercanos al equilibrio, ante perturbaciones normales del ambiente.
- Adaptabilidad o Flexibilidad: capacidad de encontrar nuevos niveles de equilibrio o continuar brindando beneficios, ante cambios en el ambiente a largo plazo.
- Equidad: es la capacidad del sistema para distribuir de manera justa, tanto intra como intergeneracionalmente, los beneficios y costos relacionados con el manejo de recursos naturales.
- Autosuficiencia: es la capacidad del sistema de regular y controlar sus interacciones con el exterior.



Las etapas en las que se divide el ciclo de evaluación que propone esta metodología son seis. Las tres primeras corresponden a la caracterización del sistema, la identificación de los puntos críticos (que aportan o restan sostenibilidad al sistema) y el desarrollo de indicadores de sostenibilidad tanto económicos, como medioambientales y sociales. En las tres últimas etapas los indicadores medidos se integran en una evaluación multicriterio combinando técnicas cuantitativas y cualitativas, de manera que se pueda realizar un diagnóstico de sostenibilidad y la propuesta de recomendaciones y cambios que mejoren la sostenibilidad del sistema.

Junto con el carácter participativo podríamos destacar otros rasgos de esta metodología como son la evaluación comparativa o relativa (longitudinal: de una explotación a través del tiempo, o transversal: de uno o más sistemas de manejo alternativo o innovador con un sistema de referencia), y el carácter cíclico, por el cual tras una primera evaluación se proponen cambios, con el objetivo de fortalecer el sistema y la metodología utilizada. Para información detallada sobre el marco de evaluación de sostenibilidad MESMIS puede visitarse la página web <http://mesmis.gira.org.mx/> donde se ofrece una descripción detallada, material de apoyo, así como una aplicación on-line.

### **Evaluación de sostenibilidad de sistemas ovinos con diferentes niveles de intensificación**

El objetivo de este trabajo fue realizar una evaluación objetiva y exhaustiva de sostenibilidad en diversos sistemas ovinos representativos de tres áreas geográficas (Cataluña, Aragón y País Vasco) con diferente nivel de intensificación y orientación productiva (carne o leche). Siguiendo los pasos del MESMIS se realizó una caracterización estructural de los sistemas (a modo de ejemplo se presenta el esquema del sistema de explotación de ovino de leche en la Figura 2).

A continuación se realizó un análisis DAFO<sup>2</sup> con la participación de representantes de los diferentes actores implicados (investigadores, técnicos,

2 Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades

ganaderos y consumidores) para identificar los puntos críticos de sostenibilidad. Entre los puntos negativos destacados podemos mencionar la falta de relevo generacional, los altos precios de la alimentación comprada y los bajos precios que se obtienen de la venta de leche líquida y corderos, al contrario de lo que ocurre en el sistema de venta de queso, que en este caso es un punto crítico positivo. Otros aspectos positivos son la posibilidad de usar recursos de pastoreo, la contribución al mantenimiento de espacios de alto valor natural o la oportunidad de comercialización que presentan las marcas de calidad asociadas al cordero (IGP<sup>3</sup> Ternasco de Aragón) o al queso (DOP<sup>4</sup> Idiazabal) en Aragón y País Vasco, respectivamente.

Cada punto crítico se asoció a uno o varios indicadores de sostenibilidad y éstos se clasificaron de acuerdo a los cinco atributos que marca MESMIS (Tabla 1), eligiéndose 37 indicadores de diferente tipo (económicos, ambientales o sociales). Para reunir la información necesaria para calcular los indicadores se realizó una encuesta seguida de controles de seguimiento de un conjunto de explotaciones ubicadas en las áreas de estudio. En la Tabla 2 se muestran las características particulares de las ocho explotaciones tipo estudiadas.

Para realizar la evaluación, los resultados de los indicadores se relativizaron respecto a unos valores de referencia (máximo y mínimo), tomados de diversas fuentes bibliográficas o de los extremos encontrados en la muestra objeto de estudio. Finalmente, se ponderó cada uno de los indicadores de acuerdo a su previsible impacto sobre la sostenibilidad, ya que cabe esperar que aun siendo todos los indicadores relevantes, no todos tienen el mismo impacto. Para ello, los expertos procedieron a ordenar los indicadores seleccionados dentro de cada atributo por orden de importancia. Para establecer el orden definitivo, se tomó el valor medio, y en base a él se estableció la importancia relativa de cada indicador dentro del atributo considerado.

3 Indicación Geográfica Protegida

4 Denominación de Origen Protegida

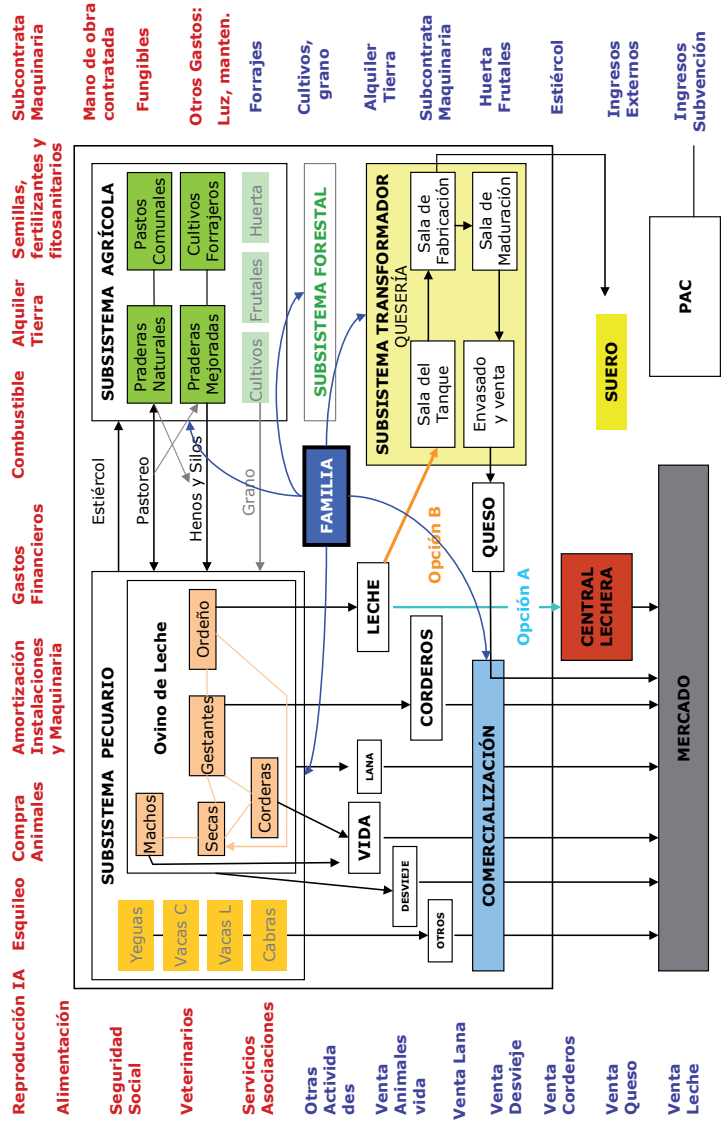


Figura 2. Esquema general del sistema de producción de la oveja Latxa con las dos principales opciones productivas (A=leche; B=queso): posibles subsistemas, relaciones, insumos y productos.

**Tabla 1.** Atributos de sostenibilidad considerados en el análisis

Atributo	Indicador, ponderación (%) y tipo <sup>1</sup>			Indicador, ponderación (%) y tipo <sup>1</sup>		
Productividad (8)	1. Productividad del trabajo (MN/UTA)	16	€	5. Efic. aliment.(MJ producto/MJ alim.)	13	€
	2. Productividad animal (MN/oveja)	15	€	6. Ingresos anim. (PFA animal/ Oveja)	12	€
	3. Efic. económica (PFA/costes totales)	14	€	7. Fertilidad del rebaño	09	€
	4. Productividad de la tierra (PFA/ha)	13	€	8. Ovejas por UTA	08	€
Estabilidad (5)	1. Continuidad (escala)	32	S	4. Adecuación instalaciones (escala)	15	S
	2. % Ingresos fuera agricultura/ totales	22	S	5. Conflictos fauna silvestre (escala)	10	A
	3. Servicios de asesoramiento (escala)	21	€			
Adaptabilidad (7)	1. N° ingresos diferentes	23	€	5. Distancia a mercados (escala)	10	S
	2. % Ingreso principal sobre PFA	17	€	6. Acceso a comunales (binaria)	10	A
	4. Competencia por uso de tierra (escala)	17	S	7. Distancia a matadero (escala)	07	S
	3. Grado de formación (escala)	16	S			
Equidad (10)	1. (MN+SS agraria/UTA)/Salario Ref.	14	S	6. Distancia a núcleo urbano (escala)	11	S
	2. Satisfacción personal (escala)	13	S	7. % Mano de obra contratada	08	S
	3. Pastoreo (%UFL past./UFLtotales)	13	A	8. Vacaciones (días/UTA/año)	06	S
	4. Efic.energética (MJ E/MJ producto)	13	A	9. Carga ganadera (escala)	06	A
	5. Pastoreo en áreas protegidas (binaria)	11	A	10. Razas locales (n°)	05	A
Autosuficiencia (7)	1. Autosuf. Alim. (%UFLcomprada/UFLtot.)	18	€	5. % SAU propia/ SAU total	13	€
	2. Autosuf. Forraj. (%forraje propio/for. total)	16	€	6. % Subvenciones/ MN	13	€
	3. Endeudamiento (gastos financieros/MN)	05	€	7. % Precio productos/ Precio referencia	11	€
	4. %UTA familiar/UTA total	14	S			

Nota: MJ=Megajulio; MN=Margen Neto; PFA=Producción Final Agraria; UTA=Unidad de Trabajo Año; UFL=Unidad Forrajera Leche; SAU=Superficie Agrícola Útil; SS=cuota Seguridad Social. Los porcentajes indican el grado de importancia del indicador dentro del atributo al que pertenece. <sup>1</sup> €=económico, S=social, A=ambiental.

**Tabla 2.** Algunas características de las 8 explotaciones analizadas

Ganadería	1	2	3	4	5	6	7	8
Localización	Aragón	Aragón	Aragón	Cataluña	Cataluña	Cataluña	P. Vasco	P. Vasco
Altitud (m)	1360	927	186	580	130	200	610	277
Pluviometría (mm)	1300	450	380	350	190	245	1059	884
Tª media anual (°C)	7.5	12.4	14.6	13	14	14	11.1	14.1
Edad titular (años)	47	41	53	41	28	50	38	60
Mano de obra (UTA)	1	1,5	2	4	3	3,5	1,5	2,5
Orientación	Carne	Carne	Carne	Carne	Carne	Carne	Leche	Leche
Tamaño del rebaño (madres)	520	575	1417	1420	1500	680	200	320
Otras producciones agro-ganaderas	No	Cereal	Cereal Maíz Girasol	Cereal Forrajeras	Cereal Forrajeras	Fru- tales Forrajeras	No	No
Acceso a comunales	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No
SAU propia (ha)	41	22	260	350	26	4,5	0	16,9
SAU arrendada (ha)	70	363	500	50	51	15,5	7,6	6,2
Comunales (ha)	850	700	1000	50	0	10	14,8	0
Lactancia (días)	60-75	45	55	35	35	35	15	20
Ordeño (días)	0	0	0	0	0	0	140	235
Sist. reproductivo	1p/1a	3 p/2a	3 p/2a	5 p/3a	5 p/3a	5 p/3a	1p/1a	1p/1a
Valor Añadido	No	IGP Ternasco Aragón	No	No	No	No	D.O. Idiazabal	D.O. Idiazabal

Nota: 1p/1a=1 parto al año; 3 p/2a=3 partos en 2 años; 5p/3a=5 partos en 3 años

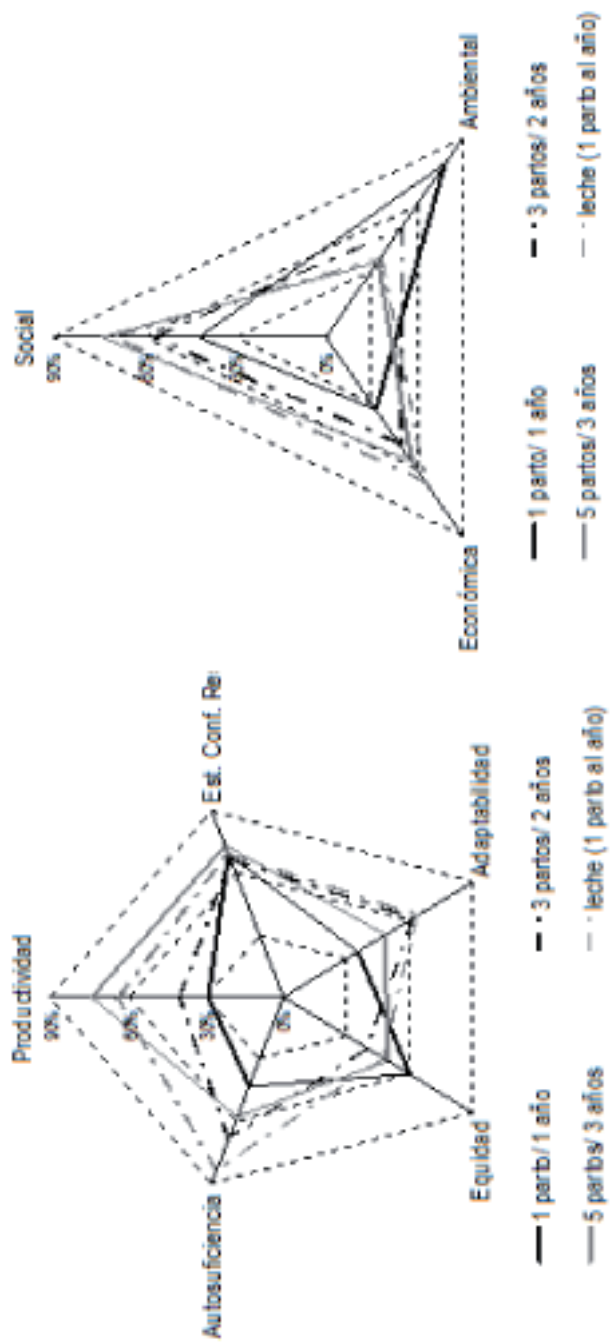


Figura 3. Diagrama de evaluación de sostenibilidad según atributos (a) y áreas (b) para diversos niveles de intensificación de la producción ovina

Los resultados del conjunto de indicadores se presentan agregados en mapas de evaluación de sostenibilidad, que pueden agruparse por atributos (Figura 3a, los indicadores de estabilidad, confiabilidad y resiliencia se consideran uno solo debido a su similitud) o por tipo de indicador (Figura 3b). Para facilitar la interpretación se han agregado las explotaciones según su nivel de intensificación productiva, desde los sistemas de menores insumos de un parto al año, los sistemas de tres partos en dos años, cinco partos en tres años y sistemas de producción de leche.

De manera general puede observarse cómo los sistemas intensivos, de mayores insumos, alcanzan mejores índices de productividad y autosuficiencia económica, mientras que los sistemas de menores insumos tienen mejores valores de equidad, pero son menos productivos y más dependientes de las subvenciones establecidas por la Política Agraria Común (PAC). De manera similar, se contraponen el área económica, que se incrementa a medida que aumenta el nivel de intensificación, con el área ambiental, que sigue una evolución opuesta, es decir, mayor índice de sostenibilidad ambiental en las explotaciones de bajos insumos.

Si bien estos mapas ayudan a interpretar los resultados globales, debido a que cada atributo agrupa varios indicadores, conviene prestar atención a los resultados pormenorizados para saber cuáles son los que más peso tienen en el resultado final o cuáles se compensan entre ellos. Los mejores resultados en los indicadores de **productividad** en los sistemas de cinco partos en tres años y de leche se deben a una mayor eficiencia de la alimentación, así como del uso de la tierra y del trabajo en el caso del primero y a una alta productividad animal en el caso del segundo.

En cuanto a la **estabilidad**, todos los sistemas mostraron valores globales similares. Sin embargo, cabe destacar que las explotaciones de carne de un parto al año y de tres partos en dos años, compensan un bajo nivel de asesoramiento y unas peores instalaciones con unos mayores ingresos externos (pluriactividad), que en lo que respecta a este atributo aporta sostenibilidad a medio plazo.

Los mejores resultados en **adaptabilidad** los presentan las explotaciones de tres partos en dos años y el sistema de ovino lechero debido a una producción más diversificada, un mejor acceso a mercados, y en algunos casos, acceso a tierras comunales.

Si observamos los resultados del atributo **equidad**, los sistemas tradicionales ubicados en zonas marginales obtienen los valores más altos, ya que el uso de razas locales y el bajo consumo energético los convierte en los más respetuosos con el medio ambiente. Cabe destacar el grado de satisfacción de las explotaciones que en general es alto independientemente de los ingresos percibidos.

Finalmente, en **autosuficiencia** se observa que el sistema de ovino lechero obtiene el mejor valor debido a su bajo endeudamiento y al alto precio obtenido por el producto, fruto de la transformación de la leche en queso en la propia explotación.

Podemos concluir señalando dos de los aspectos con mayor peso a la hora de aportar sostenibilidad en las explotaciones de ovino analizadas, por un lado la autosuficiencia alimentaria, que incide directamente en los costes de producción, y por otro lado, la comercialización de productos con alto valor añadido (queso).

## SIMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANEJO EN SISTEMAS DE VACUNO DE CARNE

### **Los sistemas de vacuno de carne en zonas de montaña en España**

Las zonas de montaña por su extensión tienen especial relevancia en España. Constituyen espacios más o menos homogéneos en el contexto europeo, con características geográficas, ecológicas, económicas y culturales comunes. La actividad económica tradicional ha sido la ganadería, la cual presenta características específicas de estas zonas, la más característica de las cuales es la utilización diferenciada en el tiempo y espacio de diversos recursos naturales: prados y cultivos forrajeros en fondo de valle (cosecha-



dos en verano y conservados para la alimentación del ganado en invierno); pastos comunales de alta montaña (situados por encima de 1500 msnm y utilizados en verano), y pastos arbustivos y arbolados en zonas intermedias (de naturaleza muy heterogénea y normalmente utilizados a diente en primavera y otoño) (Casasús *et al.*, 2002). Estos últimos pastos tienen gran interés porque han sufrido un acentuado proceso de abandono que ha desembocado en riesgos ambientales muy importantes, como es el caso del incremento de incendios forestales.

Desde la mitad del siglo pasado la ganadería en estas zonas ha sufrido un fuerte retroceso, ligado a procesos de despoblación y desmoronamiento de las estructuras sociales, abandono de zonas agrícolas, descenso del número de explotaciones, cambios de uso de la tierra, etc. Todos estos cambios han sido desencadenados por factores externos, es decir, dependientes del entorno socioeconómico general en que se desarrollaba la agricultura y ganadería en estas zonas (industrialización de las ciudades, demanda de mano de obra, aumento de infraestructuras de transporte, apertura y expansión de mercados, etc.) (Bernués, 2007). Además, durante los últimos veinte años el sector ganadero de montaña ha sufrido una fuerte reestructuración, de manera preponderante por el impacto de la PAC sobre estos sistemas (Olaizola y Manrique, 1992). En líneas generales, el vacuno de carne ha experimentado un crecimiento de la dimensión de los rebaños, aunque el número de ganaderos ha seguido disminuyendo. Recientemente, otros cambios observados más importantes en estos sistemas han sido (García-Martínez *et al.*, 2009):

- especialización hacia el vacuno de carne, abandono de sistemas lecheros y drástica reducción de los mixtos ovino-vacuno;
- extensificación en el uso de la tierra (mayor duración del periodo de pastoreo y utilización de más superficies de pastoreo), así como una marcada tendencia hacia sistemas de bajos insumos (sobre todo de alimentación);
- reducción de la mano de obra dedicada a la agricultura dentro de la explotación e incremento de actividades de las familias en otros sectores.

Al tratarse de áreas alto valor natural, se reconoce el carácter multifuncional de la ganadería en estas zonas, dado que, además de las funciones productivas y económicas, adquieren especial relevancia otras relacionadas con la conservación del paisaje y los recursos naturales, la producción de productos alimentarios diferenciados, seguros y de calidad, y el desarrollo rural (MacDonald *et al.*, 2000). Por ello cobra especial importancia el análisis de sostenibilidad de estos sistemas en el marco de los cambios productivos y socioeconómicos observados recientemente y de los servicios ambientales derivados de los agro-ecosistemas sobre los que se asientan.

### **Programa NODRIZA de simulación dinámica de vacuno de carne**

NODRIZA es un programa informático que permite evaluar la viabilidad técnica, productiva y económica de las explotaciones ganaderas de vacuno de carne bajo muy diversas estrategias de alimentación, de manejo reproductivo y del rebaño, y de uso de recursos naturales. Puede ser utilizado tanto en la gestión práctica de explotaciones a nivel de campo, como en investigación para explorar nuevas estrategias de gestión y analizar las consecuencias de su aplicación con el paso del tiempo, en diversas condiciones agroecológicas. El programa ofrece al usuario un entorno amigable de uso, incorpora las relaciones de alimentación-reproducción a medio-largo plazo en el rebaño y tiene en cuenta la variabilidad de los animales gracias a funciones matemáticas de carácter aleatorio.

En la Figura 4 se observa la interfaz inicial del programa. En primer lugar el usuario debe elegir entre rebaño de vacas nodrizas (venta de terneros al destete), rebaño de cebo, o rebaño de ciclo completo. Los menús se representan en secuencia lógica: i) en la primera parte se define el sistema de producción en sus diversas componentes, oferta, calidad e ingestión de recursos de pastoreo y alimentos; ii) en la segunda parte se procede a definir el manejo del rebaño y alimentación: lotes de animales, fechas de cubrición, tasas de reposición, etc. y el manejo de la alimentación en diversas épocas; y iii) menú donde se define la simulación. Por último, se encuentran las prestaciones para usuarios avanzados, (características de la raza, parámetros



Figura 4. Interfaz principal de programa NODRIZA

del modelo y parámetros estocásticos). Las salidas son en forma de tablas o gráficas definidas por el usuario y recogen aspectos de número de animales, peso vivo, índice de condición corporal, distribución de la paridera, etc., en momentos e intervalos de tiempo definidos por el usuario. El modelo realiza los cálculos diariamente.

### **Evaluación de estrategias de manejo de rebaños de vacuno de carne en montaña**

El objetivo de este trabajo fue comparar la evolución a largo plazo de rebaños de vacuno de carne manejados en zonas de montaña del norte de España bajo diversas estrategias en el manejo de la alimentación, la reproducción y de uso de recursos naturales. Asimismo, se analizaron los compromisos (*trade-offs*) existentes entre objetivos productivos, económicos, ambientales y del factor trabajo. El trabajo completo puede encontrarse en (Villalba *et al.*, 2010).

De especial interés resulta la consideración del resultado reproductivo del rebaño que está directamente determinado por la alimentación, que a su vez determina el peso y la condición corporal de los animales y que constituye, con diferencia, el mayor coste variable de estas explotaciones. Dicha interacción alimentación-reproducción se encuentra, además, modulada por la estación de parto, la raza y el tipo de lactancia de los terneros (Sanz *et al.*, 2004). Los efectos de la alimentación sobre los resultados reproductivos pueden tener lugar en varios ciclos, por lo que es necesario considerar periodos de tiempo adecuados en el análisis.

Hay pocos modelos bioeconómicos que representen funciones fisiológicas individuales de los animales junto con decisiones de manejo de rebaño (Agabriel y Ingrand, 2004). Además, para que los modelos sean utilizados en campo por técnicos y ganaderos es necesario que incorporen parámetros de manejo accesibles y comprensibles, como el estado de engrasamiento o condición corporal de los animales, y que atiendan los diversos objetivos, no solo productivos y económicos, de los ganaderos.

Se compararon cinco estrategias de manejo reproductivo en un rebaño hipotético de 100 vacas de carne en condiciones de montaña (Figura 5) y con dos tipos de explotaciones, las que venden los terneros destetados a otras explotaciones especializadas en cebo, y las de ciclo completo, que incorporan el cebo en la propia explotación.

- paridera de invierno (WC), cubriciones de tres meses en primavera y verano para una paridera en invierno y primavera. La mayor parte de la cubrición se realiza concentrada en pastos de fondo de valle, donde puede ser mejor controlada que en pastos de puerto. Los terneros se destetan al final de la estación veraniega en los pastos de altura a una edad media de 180 días.
- paridera de otoño (AC), sistema alternativo con un periodo de cubriciones de tres meses en invierno y partos en otoño, tras la estancia en puerto de las vacas. Tanto las cubriciones como los pastos ocurren en la explotación y son fácilmente controlados por el ganadero. El destete se realiza en primavera con una edad media de 160 días.
- paridera de ocho meses (8MC), constituye el sistema de manejo más generalizado en estos momentos en las áreas de montaña del Pirineo Central. La paridera es continua y solo se interrumpe durante cuatro meses cuando las vacas están en los pastos de puerto, debido a la imposibilidad de atender los partos. Los terneros se destetan cuando llegan a tener 180 días de vida de media.
- dos partos en tres años (2C3Y), es un sistema hipotético de manejo que pretende la extensificación máxima basada en la reducción de insumos de alimentación y trabajo, con la consiguiente reducción de los niveles de producción. Los terneros se destetan, dependiendo de los años, entre 160 y 180 días de vida.
- dos partos en tres años (2C3Y) con destete a 275 días (2C3Y9M), basado en el anterior, pero con destete mucho más tardío.

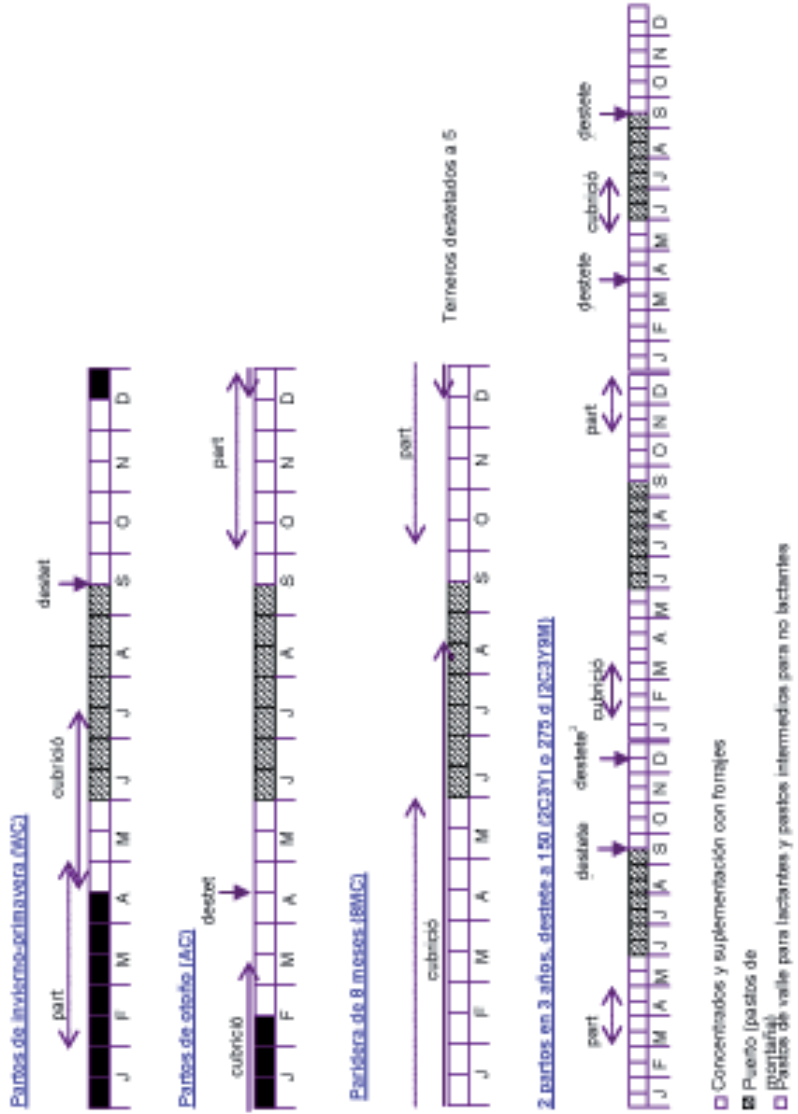


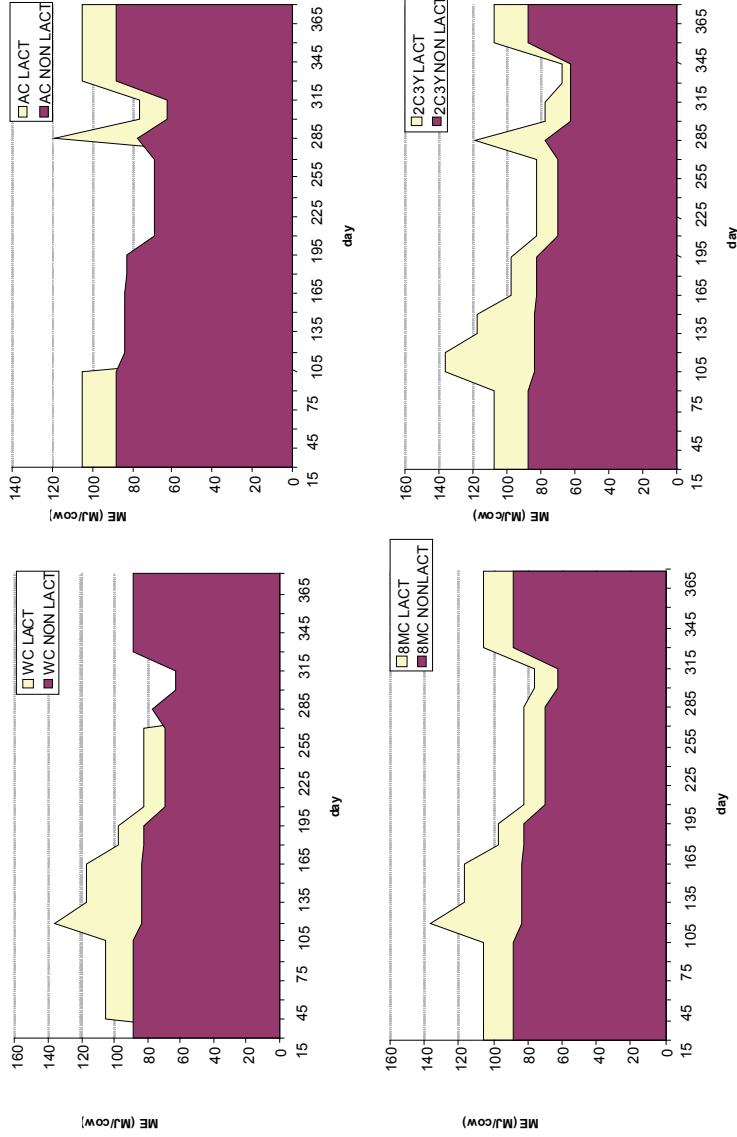
Figura 5. Manejo reproductivo y de alimentación de las estrategias simuladas

Se ha considerado que los recursos más limitantes en términos de superficie, los prados y cultivos forrajeros de fondo de valle para la invernada, son suficientes. Otros recursos como los pastos de montaña y de zonas intermedias, de uso comunal, no son limitantes en estas zonas en términos de superficie, pero sí pueden serlo en términos de calidad. La alimentación invernal se definió para satisfacer 100% de las necesidades de los animales definidas por el AFRC. La Figura 6 muestra la energía metabolizable por vaca, lactante y no lactante, disponible a lo largo del año para las estrategias simuladas.

En relación con los resultados nos centraremos en algunos indicadores técnicos, productivos, de utilización de recursos naturales, necesidades de mano de obra y económicos en dos tipos de explotaciones, de vacas nodrizas y de ciclo completo (Tabla 3). Al comparar estrategias de manejo, es fundamental considerar los diversos, y en ocasiones contradictorios, objetivos de los ganaderos y otros actores involucrados. Esto es especialmente importante en un contexto de ganadería multifuncional como el descrito aquí, donde en áreas de alto valor natural conviven objetivos de producción agraria, con objetivos de conservación y otros objetivos económicos, especialmente el turismo.

Si el objetivo es maximizar la producción animal, la estrategia AC seguida de la 8MC son las mejores, debido al mejor comportamiento reproductivo, lo que desemboca en ingresos mayores y más estables en el tiempo, especialmente en explotaciones de ciclo completo. Sin embargo, debido a las mayores necesidades de mano de obra y de alimentos comprados fuera de la explotación, tanto antes como después del destete, los costes también son los mayores. Los sistemas más extensivos de dos partos en tres años (2C3Y) resultaron en menores niveles de producción y menores costes (sistemas de bajos insumos).

En términos económicos, la estrategia 2C3Y9M produce los mejores márgenes en sistemas de vacas nodrizas productores de terneros destetados, debido al mayor peso al destete de los terneros, seguida de la estrategia WC. En sistemas de ciclo completo esta última produce los mejores



**Figura 6.** Ingestión diaria de energía metabolizable por vaca en animales lactantes (LACT) y no lactantes (NON LACT) a lo largo del año.  
 Nota: WC partos de invierno primavera, AC partos de otoño, 8MC paridera de ocho meses, 2C3Y dos partos en tres años con destete a 150 días y 2C3T9M dos partos en tres años con destete a 275 días.



resultados económicos. Por otro lado, 2C3Y es la peor estrategia en términos económicos para los dos tipos de sistemas de producción. Sin embargo, la reducción de las necesidades y la mejora de las condiciones de trabajo son muy importantes para los ganaderos, y las estrategias extensivas (2C3Y y 2C3Y9M) muestran ventajas sustanciales debidas a las menores necesidades de mano de obra para el pastoreo, la alimentación de los animales y la supervisión de la paridera. Es muy importante hacer notar que en estas áreas de montaña, donde el turismo es una actividad crecientemente importante, la mano de obra familiar tiene un coste de oportunidad muy alto, tal es así que la agricultura a tiempo parcial ha aumentado mucho recientemente (García-Martínez *et al.*, 2009).

Para concluir, las estrategias también difieren mucho en términos de uso de la tierra y, consecuentemente, en sus implicaciones ambientales. Globalmente, las estrategias AC y 8MC suponen la menor utilización de recursos naturales por mayor dependencia de insumos comprados en una estabulación invernal más larga. El resto de estrategias suponen una utilización de recursos naturales diferenciada en diversos niveles de intensidad. Por ejemplo, la estrategia 2C3Y9M supone que las vacas están lactantes en periodos de tiempo prolongados (destete a nueve meses) y requieren pastos de mayor calidad producidos en fondos de valle; por tanto, la utilización de pastos forestales intermedios es comparativamente menor. La estrategia WC y sobre todo la 2C3Y suponen una utilización mucho más prolongada de pastos forestales intermedios, los cuales son fundamentales para el mantenimiento de la biodiversidad y la prevención de incendios forestales. Algunas políticas agro-ambientales tienen medidas específicas para promover el uso de este tipo de superficies, sin embargo, la maximización del uso de este tipo de recursos puede suponer una merma de la producción y por tanto del resultado económico. La simulación realizada en este ejercicio permitiría estimar los pagos necesarios para compensar a los ganaderos que utilizan recursos y zonas marginales de pastoreo, dependiendo de las características específicas del manejo que realiza la explotación.

**Tabla 3.** Indicadores medios técnico-económicos, ambientales y de trabajo de las estrategias evaluadas

	WC	AC	8MC	2C3Y	2C3Y9M
<i>Producción</i>					
Terneros destetados <sup>1</sup>	76	86	90	59	60
Duración de la paridera (d)	90	90	240	40	40
Duración del periodo de cebo (d)	176	189	185	187	126
<i>Factor trabajo</i>					
Trabajo total (h)	458	519	670	379	420
Manejo del pastoreo (h)	183	102	126	147	180
Alimentación en pesebre (h)	173	312	290	182	190
Supervisión de partos (h)	102	104	255	50	50
<i>Duración de la suplementación invernal y utilización de pastos</i>					
Suplementación invernal (d)	122	165	165	122	122
Pastos de montaña (d)	106	106	106	106	106
Praderas y cultivos de valle (d)	42	16	38	20	65
Pastos intermedios (forestales) (d)	95	78	56	117	72
<i>Indicadores económicos</i>					
Ingresos por terneros destetados (€)	49,196	50,968	53,544	35,290	52,091
Coste de alimentación hasta el destete (€)	15,424	26,638	25,527	16,482	16,694
Coste de trabajo hasta el destete (€)	4,016	4,544	5,866	3,319	3,675
Margen económico <sup>2</sup> (vacas nodrizas) (€)					
Media	29,757	19,785	22,151	15,489	31,722
SD anual	2,487	1,638	714	23,020	35,861
Ingresos por terneros cebados (€)	74,131	85,378	86,526	57,938	57,621
Costes de cebo adicionales (incluyendo trabajo) (€)	26,039	32,897	33,420	22,223	15,175
Margen económico (ciclo completo) (€)					
Media	28,653	21,299	21,713	15,915	22,078
SD anual	2,377	1,503	678	23,297	28,642

1 por 100 vacas al año;

2 ingresos por venta de terneros menos costes variables definidos en Villalba *et al.* (2010). WC partos de invierno primavera, AC partos de otoño, 8MC paridera de ocho meses, 2C3Y dos partos en tres años con destete a 150 días y 2C3T9M dos partos en tres años con destete a 275 días.

## CONSIDERACIONES FINALES

Como hemos visto, el contexto en que las explotaciones operan es complejo y ha cambiado mucho en las últimas décadas; además, los cambios son cada vez más rápidos y muchas veces imprevisibles. En este contexto, la capacidad de adaptación a las nuevas restricciones y oportunidades del entorno es fundamental para entender la sostenibilidad de las actividades agrarias. Conceptos como el de resiliencia o capacidad adaptativa se convierten en propiedades esenciales de los sistemas (Matera *et al.*, 2000). Relacionados con éstos, aparecen otros conceptos como el flexibilidad (ej. organización

del trabajo, ajuste de composición de rebaño, de tipo de producto, etc.) y diversidad (ej. incremento de las actividades, tipos de productos, canales de comercialización, etc.) que incrementan la capacidad de respuesta frente a situaciones variables. Sin embargo, la capacidad de adaptación de los sistemas no depende solo de factores internos, sino también de factores externos como los servicios sociales (educación, sanidad, etc.), las relaciones dentro de la comunidad, el potencial agro-ecológico, las infraestructuras y equipos, el acceso a crédito, etcétera.

Otro atributo importante de sostenibilidad es la autosuficiencia o grado de autarquía de los sistemas, entendida como la capacidad de regular y controlar las interacciones con el medio ambiente que los rodea. Cuanto más autosuficiente (autónomo) sea un sistema, menos dependiente será de cualquier insumo externo, por escasez o por volatilidad de su precio. Esto es especialmente importante en un contexto de incremento sostenido de precios de la energía e insumos agrícolas.

Los enfoques metodológicos aquí expuestos pueden constituir herramientas adecuadas en la evaluación de la sostenibilidad, presente y futura, de los sistemas agro-silvo-pastoriles tanto en Europa como en América Latina, los cuales están inmersos en una situación de elevada incertidumbre.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo deriva de los siguientes proyectos financiados por INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria) – FEDER: INIA RTA03-029-C02; INIA TRT2006-00044-C02; INIA RTA2006-00170-C03; INIA PET-2007-06-C03. Se reconoce la financiación del Gobierno de Aragón, Grupo de Investigación de Excelencia A-11 y del Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agabriel J., Ingrand S. (2004). "Modelling the performance of the beef cow to build a herd functioning simulator". *Animal Research* 53, 347-361.
- Bernués A. (2007). "Ganadería de montaña en un contexto global: evolución, condicionantes y oportunidades". *Pastos* 37, 133-175.
- Bernués A., Herrero M., Dent J.B. (1995). "El estudio de los sistemas ganaderos mediante simulación: una revisión de los modelos de ovino a nivel del animal individual, del rebaño y de la explotación". *Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animales* 10, 243-272.
- Casasús I., Sanz A., Villalba D., Ferrer R., Revilla R. (2002). "Factors affecting animal performance during the grazing season in a mountain cattle production system". *Journal of Animal Science* 80, 1638-1651.
- García-Martínez A., Olaizola A., Bernués A. (2009). "Trajectories of evolution and drivers of change in European mountain cattle farming systems". *Animal* 3, 152-165.
- MacDonald D., Crabtree J.R., Wiesinger G., Dax T., Stamou N., Fleury P., Lazpita J.G., Gibon A. (2000). "Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: environmental consequences and policy response". *Journal of Environmental Management* 59, 47-69.
- MARM (2009). Análisis y Prospectiva - Serie Indicadores 5. Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación, Subsecretaría. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Masera O.R., Astier M., López-Ridaura S. (2000). Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de la evaluación MESMIS. Mundi-Prensa, México.
- Olaizola A., Manrique E. (1992). "Estrategia de adaptación de pequeñas explotaciones en el marco de la PAC. La agricultura a tiempo parcial en un área de montaña". *Revista de Estudios Agro-Sociales* 161, 99-122.
- Pérez J.P., Gil J.M., Sierra, I. (2007). "Technical efficiency of meat sheep production systems in Spain". *Small Ruminant Research* 69, 237-241.
- Sanz A., Bernués A., Villalba D., Casasús I., Revilla R. (2004). "Influence of management and nutrition on postpartum interval in Brown Swiss and Pirenaica cows". *Livestock Production Science* 86, 179-191.
- Thompson P.B., Nardone A. (1999). "Sustainable livestock production: methodological and ethical challenges". *Livestock Production Science* 61, 111-119.
- Villalba D., Ripoll G., Ruiz R., Bernués A. (2010). "Long-term stochastic simulation of mountain beef cattle herds under diverse management strategies". *Agricultural Systems* 103, 210-220.

# ZONIFICACIÓN PARTICIPATIVA DEL PAISAJE AGROPECUARIO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO EL PINAR, CHIAPAS

*L. Medina Sanson, C. Tejeda Cruz,  
D. Güiris Andrade*

**RESUMEN** El municipio de Santiago el Pinar fue decretado oficialmente en julio de 1999; se integra casi totalmente por habitantes de la etnia tsotsil, de la rama lingüística maya y tiene un perfil socioeconómico definido por actividades del sector primario. Es uno de los municipios con mayor grado de marginación en México. Las circunstancias anteriores conllevan necesidades fundamentales de planeación municipal para el desarrollo socioeconómico. Con estas bases, se realizó un estudio sobre los principales usos agrícolas y pecuarios de la tierra con participación de representantes y autoridades de las localidades municipales a través de talleres de diagnóstico y evaluación. Los participantes identificaron y describieron, con base en criterios propios, cinco zonas del paisaje; posteriormente dibujaron, sobre imágenes de satélite, la ubicación de los diferentes tipos de uso de la tierra en cada localidad. Con esta información, complementada con recorridos de campo, se realizó, mediante un Sistema de Información Geográfica, una clasificación supervisada con el fin de zonificar dichos tipos de uso. Finalmente, se evaluó participativamente los grandes problemas y necesidades a escala municipal.

**Palabras clave:** planeación del uso de la tierra, mapeo participativo, desarrollo municipal, desarrollo local, Chiapas

Cuerpo Académico Manejo de Ecosistemas y Medicina de la Conservación  
Cuerpo Académico Manejo de Ecosistemas y Medicina de la Conservación  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chiapas,  
México. *medina@colpos.mx*

**ABSTRACT** The municipality of Santiago El Pinar was officially founded on July 1999, it is composed almost entirely by the Tsotsil people, who is a branch of Mayan speaking people whose socioeconomic profile is defined by the activities related with the primary sector. It is one of the municipalities with highest degree of poverty in Mexico. The above circumstances, involve basic needs for municipal planning and economic development. On this basis, a study was conducted about major agricultural and livestock types of land use. The study included the participation of representatives and authorities of the municipal localities; the study was carried out by the use of diagnostic and evaluation workshops. Participants identified and described, based on their own criteria, five landscape zones, and subsequently drew on satellite images the location of different types of land use in each locality. With this information, supplemented with field trips, a supervised classification was performed using a Geographic Information System for the purpose of zoning such types of land use. Finally, it was carried out a participatory evaluation of the major problems and needs at municipal level.

**Key words:** Land use planning, participatory mapping, municipal development, local development, Chiapas

## INTRODUCCIÓN

La generación de información para satisfacer a corto y mediano plazos escalas propias de la planeación local y municipal del aprovechamiento de los recursos de la tierra, particularmente en el ámbito de las actividades primarias, es una necesidad fundamental en la mayoría de las regiones y municipios de México, pero hacerlo bajo esquemas convencionales de zonificación, tales como el modelo de zonificación agroecológica de la FAO, es una labor sumamente exigente en aplicación y movilización de recursos; mismos que son particularmente escasos en regiones con nivel de desarrollo pobre.

Ante ello es fundamental aprovechar al máximo, por una parte, los recursos nacionales, regionales y locales disponibles, es decir: profesionistas científicos y técnicos, recursos financieros, infraestructura, así como el conocimiento de los habitantes y agricultores locales y, por otra, la información de muy bajo o nulo costo disponible actualmente a través de la web, dentro de la cual destaca aquella generada a través de sensores remotos,

además de sistemas computacionales para procesar y analizar información biofísica y socioeconómica.

El empleo de imágenes de satélite y otros recursos visuales, con base en una aproximación paisajista, facilita la implementación de aproximaciones participativas dirigidas a evaluar las circunstancias bajo las cuales se desarrollan las actividades agropecuarias a escala municipal y local.

En esta perspectiva y en el ámbito del municipio de Santiago el Pinar, decretado en 1999, situado en la región indígena de los Altos de Chiapas, con un perfil socioeconómico claramente orientado hacia actividades primarias y uno de los niveles de marginación más elevados de México, se presenta la siguiente experiencia de investigación, centrada en el estudio participativo de los principales tipos de uso de la tierra considerando su delimitación espacial y problemática.

En este contexto, se abordan referentes conceptuales y metodológicos del mapeo y análisis de imágenes de sensores remotos con enfoque participativo dirigidos a zonificar y evaluar cualitativamente el uso agropecuario de la tierra a escala municipal y local.

## ANTECEDENTES

### *Consideraciones básicas en torno de la investigación participativa*

La investigación participativa es un complejo enfoque interdisciplinario que tiene sustento, en diferente medida, en postulados orientados al desarrollo de capacidades organizativas y autogestoras en grupos y poblaciones locales, bajo el principio de que el manejo de información técnica que enriquece la visión de la realidad de los sujetos humanos y permite visualizar de manera más amplia problemas sociales y ambientales determinantes del desarrollo humano. Este enfoque de investigación se alimenta de una gama amplia de recursos y métodos, tales como la construcción de diagramas, observación participativa, aprendizaje activo, expresión artística y comunicación comunitaria, narración de cuentos, mapeo, entre otros (Kindon *et al.*, 2007).

En una revisión sobre las principales herramientas empleadas en investigaciones participativas relacionadas con el manejo de recursos naturales, Lynam *et al.* (2007) identifican tres grandes enfoques: el primero consiste en métodos de diagnóstico que extraen información sobre conocimiento, valores o preferencias propios de grupos meta, con el fin de orientar los procesos de toma de decisiones, situados al exterior de dichos grupos; el segundo abarca métodos de co-aprendizaje en los cuales la investigación permite replantear perspectivas a los grupos, pero la información se transfiere a instancias externas de toma de decisiones; el tercero consiste en métodos en donde se verifica el proceso de co-aprendizaje pero, además, los participantes están incluidos en los procesos de toma de decisiones. Este último enfoque corresponde a la aproximación de mayor alcance teórico práctico en torno de dicha aproximación epistemológica.

Es fundamental precisar quiénes son los representantes comunitarios involucrados en las actividades de diagnóstico, aprendizaje y toma de decisiones, es decir: bajo qué circunstancias y estrategias participativas se integran los grupos de trabajo, lo cual implica tener claro que los procesos de investigación deben ser realmente incluyentes y equitativos en concordancia con la diversidad social (O'Rourke, 2005), considerando en todo caso la equidad de género, así como las escalas de trabajo (Dunn, 2007).

La concepción moderna del paisaje y sus implicaciones desde la perspectiva del aprovechamiento de los recursos de la tierra.

La concepción occidental del paisaje surge de apreciaciones de alcance estético, afectivo y pragmático (Nelson, 2009; Delgado *et al.*, 2009). De éstas se desprende, en los albores del siglo XIX, la perspectiva científica, manifiesta en trabajos de Humboldt y Ritter, quienes concebían el paisaje como síntesis indisociables de rasgos geográficos físicos, a la vez que humanos. A inicios del siglo XIX Hommeyerem introduce la definición técnica del paisaje dentro de la literatura geográfica, concebido como la asociación de localidades, bosques y otras expresiones significativas de la tierra situadas entre montañas cercanas y observadas desde un punto alto (Romero *et al.*, 2000).



Cerca de un siglo después, Otto Schlüter, pionero del estudio científico del paisaje, desarrolla postulados teóricos en los cuales se establece una dualidad que separa la dimensión biofísica y sociocultural del paisaje. No obstante, de manera paralela al surgimiento de este enfoque se formularon aproximaciones contrapuestas a tal visión positivista y determinista geográfica. Destaca el nombre de Vidal la Blanche como impulsor de una posición integradora, que postula el paisaje como resultante de la interacción dinámica de componentes físicos y humanos (Urquijo y Barrera, 2009).

Hacia mediados del siglo XX se desarrolla en Francia una escuela geográfica particularmente destacada, con representantes tales como Marc Bloch y Lucien Febvre, entre otros, quienes emprenden estudios históricos que articulaban procesos sociales y ambientales. Alrededor de la segunda mitad del siglo XX los estudios del paisaje se inclinaron hacia un abordaje conceptual y empírico naturalista; no obstante, en esta dicotomía entre perspectivas reduccionistas (que pueden también caer en determinismos sociales) e integradoras se ha sostenido sistemáticamente (Urquijo y Barrera, 2009).

En una perspectiva integral, interdisciplinaria, que paulatinamente avanza en medios académicos y sociales, se plantea cada vez más la noción de paisaje como un medio y fin de la planeación territorial y el desarrollo de diferentes modos de vida, asociados con estructuras y procesos de naturaleza política y cultural (Strömquist and Backéus, 2009), con sustento en el manejo integral de los recursos y el desarrollo de todo el conjunto social, que modifica su forma y sentido.

En este contexto, destaca el debate vigente en la Unión Europea sobre alcance conceptual e implicaciones académicas y sociales del paisaje. Así, se reconoce a éste como medio determinante para impulsar la planeación territorial y como fin en sí mismo, toda vez que la gestión del paisaje es indisociable de la calidad de vida y la obtención de satisfactores de naturaleza, biológica, económica, política y cultural. Lo anterior precisa transitar sobre principios acordes con la construcción de sociedades más democráticas (Dubois, 2009).

### *La zonificación paisajista en la perspectiva del manejo de los recursos naturales*

En el ámbito de la planeación del uso de la tierra, se identifica la zonificación como un proceso que conduce a diferenciar estratos, reconocibles como unidades elementales de estudio o manejo, con vías a impulsar la investigación, el aprovechamiento de recursos naturales y, en términos generales, el desarrollo a escala local, municipal, regional, nacional y/o mundial. Las propiedades de estos estratos son expresión de la orientación, escala y objetivos de investigación y desarrollo (Álvarez *et al.*, 2008; Albisu *et al.*, 1999; FAO, 1997).

La zonificación puede enmarcarse en enfoques orientados por las ciencias naturales, sociales, o bien la integración interdisciplinaria; es decir, puede reproducirse la división epistemológica entre aproximaciones reduccionistas y deterministas en contraste con el reconocimiento y estudio de sistemas complejos, con interacción ineludible entre factores naturales y humanos (Turner, 2003).

En un análisis sobre la zonificación agroecológica orientada hacia una dimensión tecnológica y biofísica, Wood y Parley (1997) reconocen tres enfoques básicos: *métodos deductivos*, fundamentados en criterios establecidas *a priori* por expertos y dirigidos a integrar un portafolio de investigación que permite delimitar de dominios ecológicos (zonas); *análisis de conglomerados* (cluster analysis), en el cual se hacen agrupaciones estadísticas de condiciones agroecológicas similares y posteriormente se establecen clases adecuadas para investigar y; *geografía de la producción* (método inductivo), en el cual se parte de la ubicación actual de la producción y se lleva a cabo una caracterización ecológica de dichas áreas considerando el estudio de sus necesidades específicas de investigación o planteando expectativas similares de respuesta ante nuevas tecnologías.

Este último enfoque permite visualizar la zonificación de recursos naturales en una dimensión geográfica, misma que puede trascender el manejo aislado de los aspectos sociales y humanos y asociar estratos reconocibles como unidades integradoras de aspectos fisiográficos, de manejo y de circunstancias sociales

relativamente homogéneas. Los estratos o zonas así definidos se asocian con procesos de clasificación de los recursos de la tierra, del uso que se hace de ello, de la naturaleza y dinámica socioeconómica y tecnológica de los habitantes y beneficiarios de tales espacios y bienes (Elwood, 2006).

#### *Los sensores remotos en la zonificación de los recursos naturales y el uso de la tierra*

El fortalecimiento de los sistemas científicos y tecnológicos asociados con la puesta en órbita de satélites dotados de sensores remotos con resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal cada vez mayor ha permitido un despegue en las disciplinas orientadas al monitoreo de los recursos naturales y los cambios en el paisaje (NRCS, 2002; Franklin, 2001). El empleo de imágenes procedentes de sensores satelitales es una alternativa particularmente atractiva en regiones en donde es muy limitado o nulo el acceso a registros de fotografías aéreas o imágenes LIDAR (Light Detection and Ranging).

La tecnología basada en dichos sensores, debido a su rapidez, economía, precisión, dinámica y capacidad de supervisión repetitiva es particularmente apropiada para el estudio de las actividades agrícolas, siendo esta una de sus aplicaciones más importantes. En este ámbito los sensores remotos pueden emplearse en la identificación y mapeo de cultivos y, dentro de ésta, destacan como herramienta de estudio las clasificaciones supervisadas a través de sistemas de información geográfica, sobre todo por el método de verosimilitud máxima (Zhongxin *et al.*, 2008; Hengl and Rossiter, 2003).

#### *Mapeo y empleo participativo de SIG en el contexto del manejo de recursos naturales*

En el proceso del trabajo requerido para obtener los bienes de la tierra, los agricultores observan, clasifican, evalúan y ordenan una vasta gama de objetos, procesos, relaciones y acciones. Dicho conocimiento, si bien puede tener insuficiencias de diferente naturaleza, tiene un margen de objetividad empírica que puede ser muy notable (Puri, 2007; Kimmerer, 2002; Cleveland, 1998).

En torno del conocimiento del paisaje agrícola y tierras locales, debe esperarse que al transcurrir generaciones de agricultores surjan clasificaciones de zonas y tierras, mismas que expresan un ordenamiento de los recursos (Barrera-Bassols *et al.*, 2009; Johnson, 2000). No obstante, este conocimiento y la organización social del cual se desprende enfrenta nuevos y cada vez más cambiantes escenarios, asociados con el crecimiento poblacional, la intensificación del uso de la tierra y la configuración de nuevas relaciones sociales y económicas, enmarcadas en los procesos de globalización y reconfiguración permanente del orden económico internacional.

En este contexto se reconoce el proceso de visualización, depuración y reconstrucción de la percepción espacial y temporal del paisaje como un componente trascendental en el fortalecimiento de las sociedades locales. Lo anterior se plantea sobre la base de que el desarrollo de los sistemas y procesos de conocimiento conducen a identificar alternativas de desarrollo y favorece de este modo el desarrollo de capacidades autogestoras.

Sin embargo, estas posibilidades de fortalecimiento no son una consecuencia tácita de la vinculación entre profesionales de los SIG y habitantes locales, comúnmente definidos como grupos meta. Lo anterior se asocia con los términos en los cuales se concibe la participación y la autogestión (Elwood, 2006); en este sentido se plantean como indicadores de los beneficios derivados de la aplicación participativa de los SIG: la verificación de resultados favorables a las comunidades involucradas, dentro de procesos de toma de decisiones a escala regional y el aumento en el control de tales comunidades sobre la acción ejercida por agentes externos inmersos en aspectos propios del campo de información asociada con el desarrollo de los proyectos de SIG participativos (Corbett y Keller, 2005).

Con fundamento en las premisas anteriores, el objeto y alcance del mapeo participativo se expresa cuando el conocimiento nativo sobre aspectos con implicaciones espaciales es testimoniado a través de mapas y los mecanismos para su registro y difusión parten de las expectativas

de las comunidades locales. De este modo, el conocimiento se traduce en la elaboración de materiales cartográficos, mismos que sintetizan las relaciones dialécticas entre los integrantes de una comunidad (Herlihy y Knapp, 2003).

Los recursos de sensores remotos y procedimientos empleados para la elaboración de materiales cartográficos derivados del trabajo participativo son muy amplios, abarcando elementos como cartas topográficas, fotografías aéreas modelos digitales de elevación y diversas imágenes de satélite (Weng, 2009; NRCS, 2002).

Las decisiones en torno del uso de determinadas imágenes de satélite se deriva de los objetivos y escala de trabajo, así como de los recursos humanos, tecnológicos y económicos disponibles; en todo caso se reconoce mayor efectividad de las imágenes con más alta resolución, como las de los satélites IKONOS y Quickbird en el caso de estudios a escala local; LANDSAT-ETM plus o ASTER, con resolución media, para estudios regionales; mientras que imágenes de menor resolución, como MODIS o AHVRR para estudios de alcance continental o global (Weng, 2009)

El empleo de imágenes descargadas a través del software Google Earth, con muy alta resolución y actualmente gratuitas, es aún un campo en desarrollo en muchas regiones debido a que muchas de éstas, disponibles en la web, son de reciente incorporación, ya que la empresa Google incrementa progresivamente su cobertura, sobre todo desde septiembre de 2008, fecha en la cual dispone de imágenes captadas por el satélite Geoeye-1, que ofrecen una definición a los usuarios de 2 m por pixel en imágenes multiespectrales de color verdadero y de 0.5 m en pancromáticas (Fraser y Ravanbakhsh, 2009).

De este modo es previsible que, en tanto dichas imágenes estén disponibles de manera gratuita o con muy bajo costo, su empleo aumentará progresivamente, siendo así un recurso básico en las investigaciones participativas con empleo de SIG, sobre todo por la facilidad con que el software Google Earth permite elaborar modelos tridimensionales, perspectivas verticales y oblicuas de baja y muy baja altura y otros recursos que pueden incorporarse como alternativas para visualizar aspectos espaciales.

## PROBLEMÁTICA Y MÉTODO DE TRABAJO

### **El problema de estudio**

El municipio Santiago el Pinar es declarado constitucionalmente como tal en julio de 1999, lo cual se deriva en gran medida de los conflictos sociales asociados con el levantamiento armado zapatista; movimiento que expresa demandas inaplazables de desarrollo por parte de diversas localidades y regiones de Chiapas, particularmente aquellas con predominio cultural indígena (Burguete y Leyva, 2007).

A partir de su decreto, Santiago el Pinar ha entrado en un proceso complejo de estructuración económica y social, adverso en diversos aspectos desde una perspectiva intercultural. No obstante, la disponibilidad de una base administrativa, jurídica y de recursos financieros propios abre posibilidades significativas para impulsar procesos de desarrollo. Sin embargo la marginación socioeconómica que adolece el municipio se convierte en una debilidad difícil superar sin la integración de los actores locales clave, es decir: autoridades y comunidades. Más aún, dicha integración precisa labores de planeación y formulación de alternativas de desarrollo que requieren de una base de información y desarrollo de capacidades complementarias.

En Santiago el Pinar se sitúan localidades con índices de marginación entre los más altos de México (CONAPO, 2005; PNUD, 2005) y es por lo tanto altamente prioritario emprender acciones de investigación y gestión dirigidas a planear el desarrollo municipal y social. Este municipio representa además, por su reducida extensión territorial (casi 1700 hectáreas), una oportunidad para diseñar y evaluar *a priori* modelos participativos de investigación sobre ordenamiento territorial con alcance municipal y comunitario.

Con base en los referentes expuestos, se planteó el objetivo general de realizar, con participación de representantes de los habitantes, autoridades del municipio de Santiago el Pinar y equipo de investigadores involucrados en la investigación, una zonificación del paisaje, con énfasis en el uso agrícola y pecuario de la tierra, susceptible de asumir por dichos actores como

instrumento de apoyo para la gestión del territorio municipal. El trabajo se desarrolló durante el periodo de febrero a noviembre de 2009.

### **Descripción del contexto**

El municipio Santiago el Pinar tiene una extensión de 16.6 km<sup>2</sup> que representa 0.02% de la superficie del estado de Chiapas (Figura 1).

#### *Población*

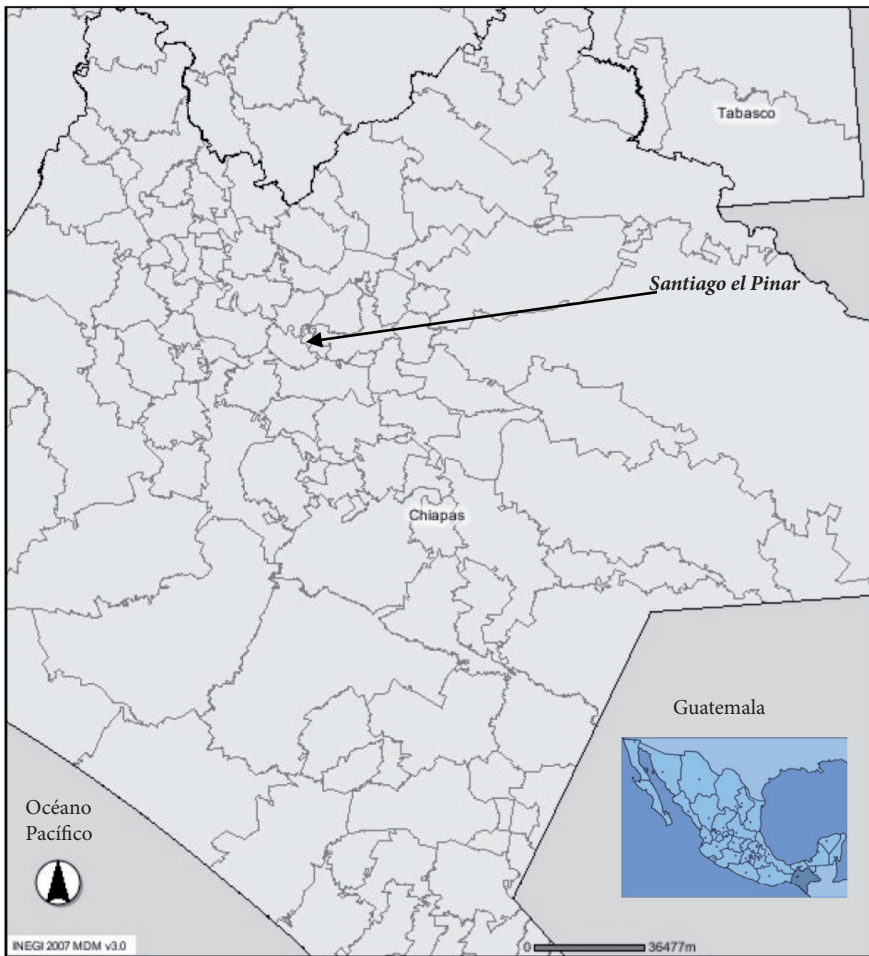
Según el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática de México (INEGI, 2006), la población del municipio, censada en 2005, fue de 2,854 habitantes: 49.7% son hombres y 50.3% mujeres; 35.8% es menor de 10 años, 13.9% tiene entre 10 y 14 años, 12.9% entre 15 y 19, 14.4% entre 20 y 29, 9.2% entre 30 y 39, 3.3% entre 40 y 44 y el resto se distribuye en grupos de edades mayores. El 90.1% es indígena (perteneciente a la etnia tsotsil, de la rama lingüística y cultural maya).

En cuanto al alfabetismo, del total de la población mayor de 6 años, es decir, 2,018 personas en 2005, 47.4% sabe leer y escribir, mientras que 52.5% no sabe leer ni escribir, el analfabetismo es mucho más acentuado entre la población femenina.

#### *Economía*

En 2005 el 94.1% de la población municipal ocupada percibió dos o menos salarios mínimos<sup>1</sup> y el grado de marginación municipal fue muy alto según datos del Consejo Nacional de Población (Conapo, 2005). En algunas comunidades, como San Antonio Buenavista, Santiago el Relicario, Chiquinchén y otras, la situación en 2005 es de carencia muy grave de bienes y servicios básicos (ver Anexo 1), lo que ubica al municipio entre los de mayor marginación nacional. Cabe mencionar que Santiago el Pinar cuenta con solo un ejido,<sup>2</sup> que lleva el mismo nombre y que ocupa alrededor de las dos terceras partes de la superficie municipal.

En el año 2000, la Población Económicamente Activa por Sector ocupada fue de 338 habitantes, distribuidos de la siguiente manera: Sector Primario:



**Figura 1.** Localización del municipio de Santiago el Pinar  
.Fuente: elaboración propia con base en imágenes del Mapa Digital de México (INEGI, 2009)



El 97.3% realizó actividades agropecuarias; en tanto que en los ámbitos regional y estatal fue de 54.9% y 47.2% respectivamente. Sector Secundario: El 0.6% de la PEA laboró en la industria de transformación; en los niveles regional y estatal las cifras fueron de 14% y 13.2%. Sector Terciario: El 1.5% de la PEA se empleó en actividades de comercio u oferta de servicios a la comunidad; en los niveles regional y estatal la proporción fue de 29% y 37.3%, respectivamente.

### *Medio físico*

Santiago el Pinar se ubica en su totalidad dentro de la región fisiográfica de los Altos de Chiapas, en la zona ecológica tropical húmeda del sureste de México (Figura 1), con un clima (A)C(m)(f) en el 91.3% de su área. Sus coordenadas extremas son: X1: 92.744 Longitud W, Y1: 16.917 Latitud N; X2: 92.701 Longitud W, Y2: 16.980 Latitud N y la altitud promedio sobre el nivel del mar es de 1584 m.

## MÉTODOS

El diseño de la investigación comprende tres grandes ámbitos: el diseño y fomento del trabajo participativo con autoridades y habitantes locales; la representación espacial de aspectos territoriales; los procedimientos para registrar y validar información de campo.

### *Trabajo participativo*

La relación de trabajo inició estableciendo una cita con el presidente municipal para proponer la realización del estudio. Derivado de dicha reunión, se acordó presentar al pleno del cabildo municipal los objetivos y productos de la investigación, mismos que fueron aprobados. Se estableció además que el mecanismo de participación más apropiado sería a través de la red de agentes municipales, integrada por un titular y un suplente. Los agentes municipales son responsables de realizar todas las gestiones públicas de las localidades reconocidas por el cabildo y se eligen, con duración de un año, por asamblea en cada localidad.

Con respecto de los miembros del cabildo, los secretarios municipales, titular y suplente, fueron participantes clave por dos razones: fungieron como traductores sistemáticamente, ya que la mayoría de los agentes municipales no tienen amplio dominio del idioma español, siendo su lengua principal el tsotsil; además fueron un enlace permanente con el presidente municipal, comunicándole sobre los avances y acuerdos tomados con el grupo de trabajo de base. El presidente y síndico municipal, así como seis regidores, se incorporaron al trabajo en sesiones de manera eventual, pero determinante, a través de sesiones plenarias, analizando y evaluando los avances desarrollados con el grupo de base. De este modo, se estableció un grupo total compuesto por 36 personas.

*Dinámica de trabajo en los grupos.* Se establecieron tres niveles de trabajo:

Plenarias de validación de información con presencia del cabildo, el grupo de agentes municipales y el equipo de investigadores.

Talleres con participación de todos los agentes municipales y el equipo de investigadores, orientados a generar e integrar, información de alcance local y municipal.

Talleres microrregionales, establecidos con base en la división territorial establecida de manera no oficial por las autoridades del cabildo y las 13 localidades. En este nivel se trabajó con todos los agentes municipales, titulares y suplentes que conforman cada una de tres microrregiones, poniendo énfasis en la ubicación espacial de los tipos de uso de la tierra en cada localidad. Se realizaron 10 talleres, con duración de las sesiones entre 3 y 4 horas. Al final de cada evento se organizó una comida, con el fin dar un término socialmente integrador y reconocimiento personal y grupal.

### *Zonificación del paisaje*

Se realizó a través de dos grandes componentes, el primero: las imágenes de base, y el segundo: los criterios y procedimientos de zonificación.

*Imágenes de base:* se empleó la imagen de satélite extraída de Google Earth y se preparó adicionalmente una representación topográfica con curvas de nivel cada 30 metros, elaborada a partir de modelos digitales de

elevación disponibles en el sitio web del Instituto de Estadística Geografía e Información de México (INEGI). Ambas imágenes se imprimieron en formato de 60 X 90 cm y se utilizaron como material visual sobre el cual se trazaron las zonas (Figuras 2 y 3).



Figuras 2 y 3. Definición participativa de zonas del paisaje

**CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE ZONIFICACIÓN:** esta etapa se basó en el conocimiento de los participantes, sobre todo de los agentes municipales de cada localidad, sobre el paisaje y sus diferentes tipos de uso, con base en los siguientes criterios: rangos municipales de temperatura y de humedad, vegetación natural, uso actual y uso potencial.

Los rangos de temperatura municipal se construyeron determinando cualitativamente los extremos de la escala y posteriormente las categorías intermedias, de acuerdo con la perspectiva de los participantes; a partir de éstos se establecieron las categorías de frío, templado, semicálido y cálido; en la humedad se fijaron tres clases: húmeda, subhúmeda y semiseca (Cuadro 1).

En un primer momento, en taller general de trabajo, los agentes registraron las zonas del paisaje agropecuario y forestal. De manera natural, se organizaron en tres subgrupos correspondientes a cada microrregión preestablecida por ellos y así fueron trazando las zonas correspondientes,

mismas que al final fueron retroalimentadas y validadas por todos los participantes.

En un segundo momento se entregó una impresión del mapa municipal a cada agente, con el fin de realizar posteriores talleres en cada sede microrregional y afinar en estas los límites espaciales de cada tipo de uso (Figuras 4 y 5).



**Figuras 4 y 5.** Definición de tipos de uso de la tierra en cada zona y localidad

Restricciones para su procesamiento a través de un SIG propias de la imagen obtenida con Google Earth, condujeron a emplear otro recurso. Se descargó del sitio de la USGS-U.S. una escena LANDSAT ETM+, con fecha 22 de febrero de 2007; la cual se utilizó para realizar una clasificación supervisada experta mediante el programa ERDAS IMAGINE.

Es importante destacar que la fecha de dicha escena es particularmente favorable, dado que los cultivos de maíz se encuentran apenas en inicio de cosecha, lo cual permite diferenciarlos claramente de otros tipos de uso. Sin embargo, la resolución de las imágenes no permitió distinguir, durante el proceso de clasificación, los cultivos de frutales con respecto de los terrenos con cafetales; así como el cultivo de frijol de las superficies bajo pastoreo. La georreferenciación de todas las imágenes derivadas se ajusta a los metadatos propios de la imagen LANDSAT.

Antes de realizar la clasificación, se incrementó la resolución espacial. Las bandas empleadas fueron las número 1, 2 y 3, unidas en una imagen de color verdadero. Se amplió la resolución de 30 a 15 m por pixel a través de la banda pancromática, mediante el método de componentes principales y la técnica de remuestreo por circunvolución cúbica.

### *Clasificación supervisada*

Se trabajó sobre una imagen en color verdadero debido a que permitió reconocer mejor diferencias cromáticas entre tipos de uso, incluyendo las áreas de poblamiento, durante el marcado de firmas espectrales. Se empleó la regla paramétrica de decisión por verisimilitud máxima —maximum likelihood—. La imagen obtenida se presentó en formato impreso a los participantes, quienes sugirieron algunas mejoras (Figura 6), las cuales se atendieron por el equipo investigador y posteriormente fueron validadas en sesión plenaria.

Una vez definidos por el grupo de participantes los grandes tipos de uso, se realizó un perfil productivo a partir de un inventario de tierras bajo uso agrícola y rendimientos genéricos a escala municipal, así como de existencias pecuarias a escala local y municipal. Se compararon las superficies de los diferentes tipos de uso resultantes de la clasificación supervisada con las estimaciones de los participantes con las áreas resultantes de las clases definidas y proyectadas a través del SIG.

### *Procedimientos para registrar y validar la información de campo*

El nivel de aproximación en la observación de variables, así como el detalle cartográfico contemplado para los aspectos espaciales considerados, se estableció con base en una perspectiva de planeación territorial general, es decir, dirigida a identificar grandes problemas y prioridades de uso de la tierra a escala municipal; lo anterior incluye la integración de perspectivas generales a escala local y familiar.

No obstante, el esbozo descriptivo de los tipos de uso, el registro de problemas, organizados en tablas y de referentes productivos básicos



**Figura 6.** Evaluación participativa de la cartografía de tipos de uso de la tierra

sobre el aprovechamiento agropecuario, permite reconocer con relativo detalle, rasgos tecnológicos y sociales. Los problemas identificados se reportan en los términos enunciados por los participantes, es decir, se plasma su experiencia, con las restricciones propias del proceso de traducción bidireccional tsotsil-español entre investigadores y participantes, así como otros factores con implicaciones interculturales.

Con excepción de los datos sobre superficie y uso de la tierra, derivados de la clasificación supervisada realizada con el SIG, todos los registros cuantitativos son estimaciones de los participantes, integradas en cuadros de información y validadas siempre a escala grupal. Lo anterior parte de la premisa de que la experiencia y conocimiento de los habitantes locales, representados por los agentes municipales y autoridades del cabildo tiene la objetividad y precisión suficiente para identificar zonas de paisaje agropecuario, así como grandes problemas asociados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Antecedentes**

Según la información aportada por los participantes, el uso de la tierra y configuración del paisaje municipal iniciaron aceleradas transformaciones alrededor de los años de 1970. Hacia 1976 se introdujo el cultivo del café y desde entonces los cafetales han mantenido un crecimiento paulatino.

Durante el periodo de 1981-1982 se abren importantes superficies para la actividad ganadera, en gran medida como respuesta a la promoción oficial de proyectos productivos de alcance regional; esto condujo al desmonte de considerables superficies forestadas. El auge ganadero comenzó a declinar alrededor de 1987 hasta situarse en un nivel de relativa estabilidad e incluso actualmente se han restablecido con vegetación arbórea algunas áreas sometidas anteriormente a pastoreo. El poblamiento humano comenzó a ser particularmente evidente durante el periodo 1980-1982, con lo cual ha crecido la producción y consumo de maíz; así como la demanda y extracción de leña, remarcándose estos procesos a partir de 1999, cuando Santiago el Pinar es decretado municipio.

De acuerdo con estimaciones de autoridades y representantes comunitarios locales, el municipio tenía hacia fines de 2009 alrededor de 4,230 habitantes, de manera que su densidad poblacional es aproximadamente de 249 habitantes por km<sup>2</sup>, cifra que (más allá de la imprecisión de los datos) evidencia condiciones de muy alta densidad, sobre todo si se parte de que es un área rural muy marginada.

### **Ubicación de las colonias de Santiago el Pinar**

Destaca en la Figura 5 que la mayoría de las comunidades se encuentran a distancias relativamente cercanas; sin embargo tres de ellas: El Relicario, Chiquinchén y sobre todo San Antonio, enfrentan condiciones de aislamiento, situación que se complica durante los periodos de lluvia, cuando las terracerías de acceso se tornan intransitables por vehículo.



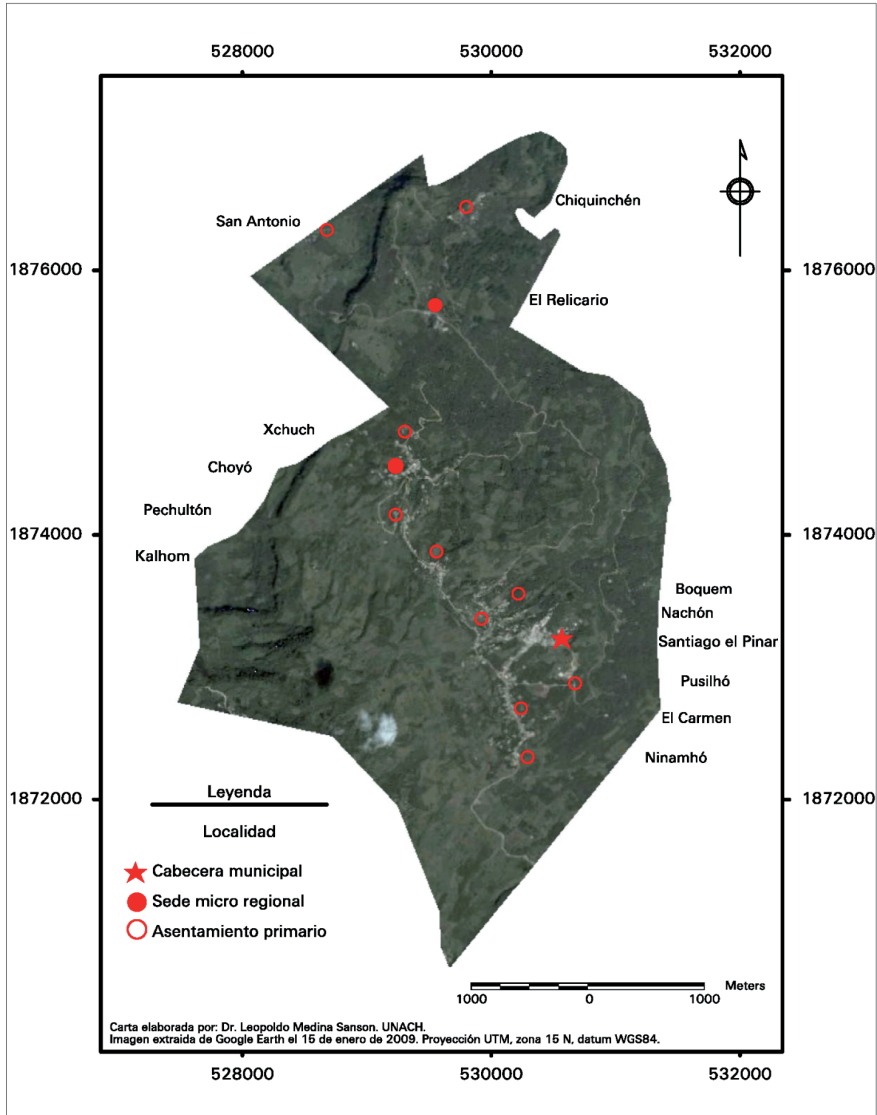


Figura 7. El municipio de Santiago el Pinar y sus localidades



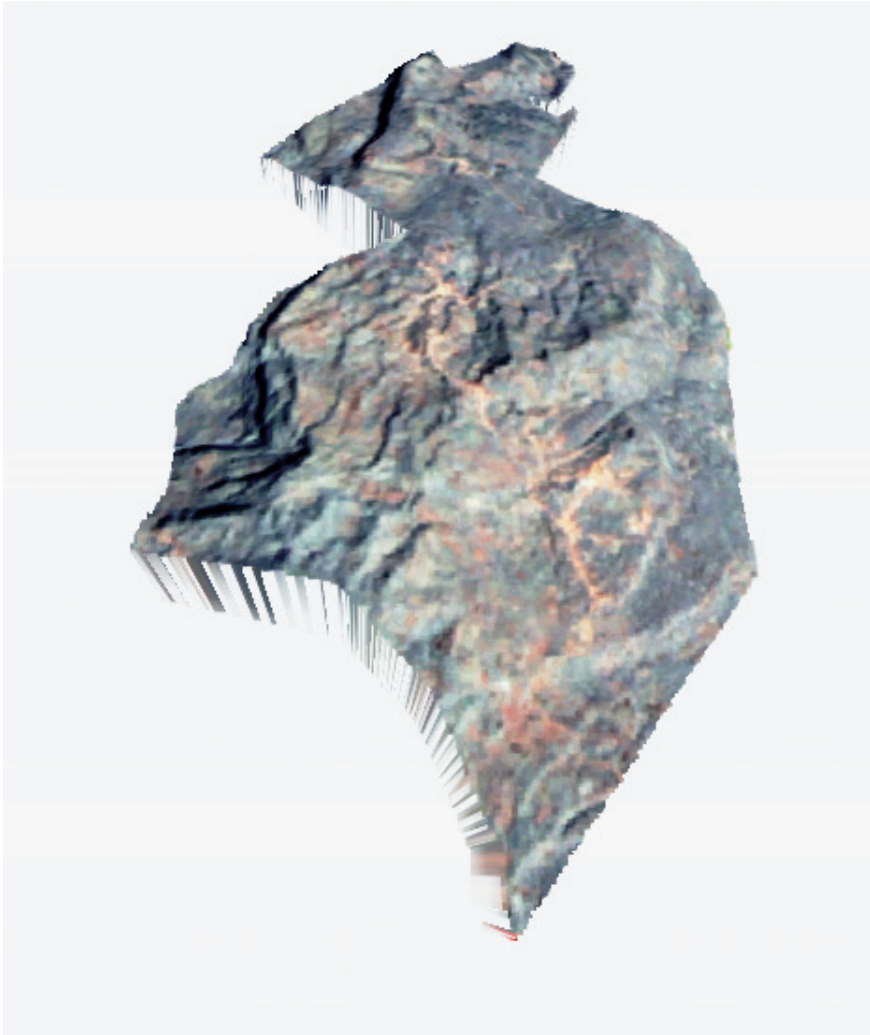
Las localidades anteriores integran la microrregión “El Relicario”; mientras que las localidades de Ninamhó, El Carmen, Pusilhó, Santiago el Pinar, Nachón y Boquem conforman la microrregión “Cabecera Municipal” y, finalmente; la microrregión “Choyó”, se integra por Kalthom, Pechultón, Choyó y Xchuch. En una primera aproximación a la configuración del paisaje, la Figura 7 permite reconocer algunas porciones con vegetación poco deteriorada (tonalidades oscuras). Se distinguen cultivos de plantación, principalmente café con reducidas áreas ocupadas por frutales (tonos verdes, ligeramente menos oscuros que la vegetación natural). Las tonalidades más claras y con matiz pardo comprenden predominantemente terrenos cultivados con maíz.

Finalmente, los tonos verde claro corresponden a potreros y cultivos de frijol, en proporciones similares (no es posible con los recursos de sensores remotos empleados diferenciar visualmente sitios de pastoreo de cultivos de frijol); mientras que, los colores más claros, cercanos al blanco consisten básicamente en casas y vías terrestres.

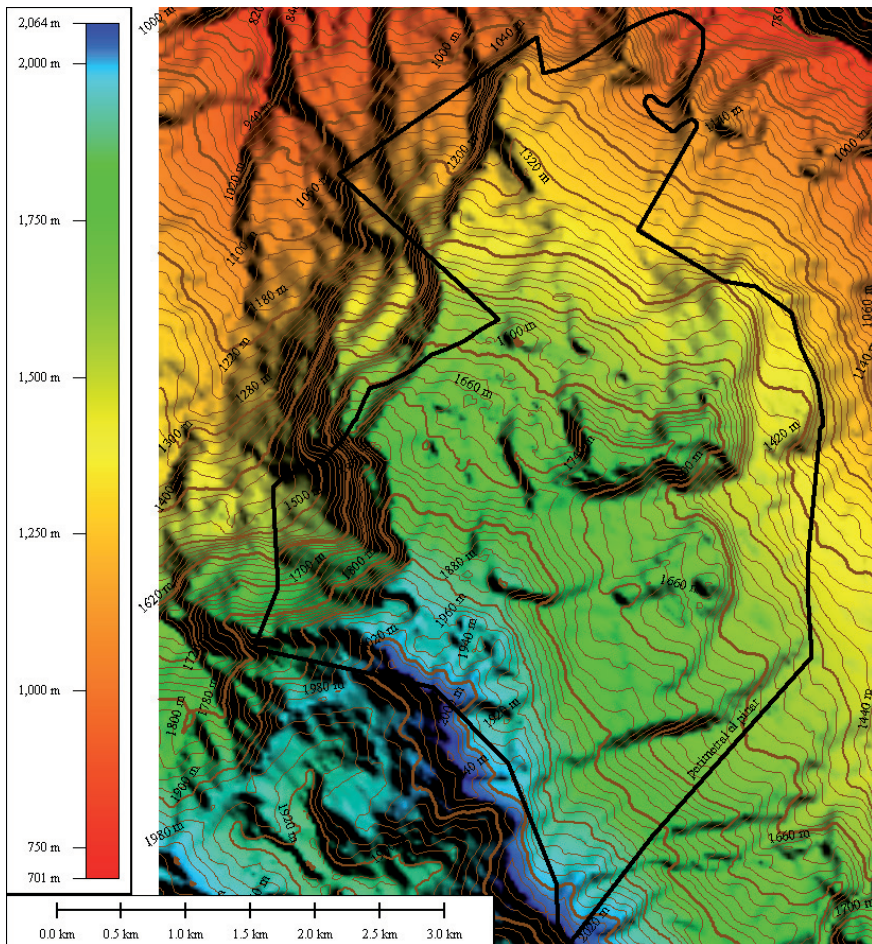
### **Zonificación participativa del territorio municipal**

En la Figura 8, se presentan las zonas agroecológicas definidas por los habitantes locales. Al contrastar la zonificación realizada por los campesinos con la naturaleza del relieve considerando rangos altitudinales y orientación de la pendiente (Figura 9) se observan correspondencias importantes.

La zona El Carmen se sitúa con notable precisión en el rango de 1540-1800 m, con orientación hacia el NW-W. La zona San Antonio se ubica en los límites de 1040-1200 con orientación NW. La zona El Relicario está en el intervalo de 1560-1100 m y se orienta hacia el NE. La Zona Cabecera se ubica entre los 1560-1800 con una orientación compleja, aunque predominantemente en dirección NE – E. Finalmente, la zona Ninamhó se localiza principalmente entre los 1800 y 2060 m, con orientación claramente definida hacia el NE (es la única zona que presenta un ligero traslape altitudinal y de orientación, en su porción E, con la zona cabecera).



**Figura 8.** Zonas agroecológicas del municipio de Santiago el Pinar  
Fuente: imagen elaborada por los autores con base en un modelo digital de elevación (INE-GI) y escena LANDSAT ETM+ del USGS-U.S.



**Figura 9.** Altitud y relieve del municipio de Santiago el Pinar  
 Fuente: imagen elaborada por los autores con base en un modelo digital de elevación (INEGI)

Las características agroecológicas generales respectivas, registradas sobre los procedimientos de investigación participativa, se presentan en la Tabla 1. Se acude en el cuadro a la expresión de potrero, en términos genéricos, destacando la intención de alimentar ganado bovino y equino bajo sistemas de pastoreo intensivo en donde se amarra a los animales en terrenos con gramíneas forrajeras o malezas que crecen en terrenos agrícolas bajo descanso (Figura 10).

**Tabla 1.** Características de las zonas de Santiago el Pinar según criterios locales

<i>Zona</i> <i>Aspecto</i>	<i>Ninamhó</i>	<i>El Carmen</i>	<i>San Antonio</i>	<i>El Relicario</i>	<i>Cabecera</i>
<i>Temperatura</i>	Fría	Templada	Cálida	Semicálida	Templada-fría
<i>Humedad</i>	Húmeda	Húmeda	Semiseca	subhúmedo	Húmeda
<i>Vegetación</i>	Pino, ciprés	Chalúm, ciprés, roble	Roble, pino, tarro, chalúm	Pino, roble, chalúm	Pino ciprés, chalúm
<i>Uso actual</i>	Milpa, frijol, potrero	Café, frutales (durazno, manzana, pera, aguacate), floricultura, potreros	Café, frutales (naranja, mandarina papaya, guayaba), potreros	Principal zona cafetalera, milpa, plátano, tomate, chile, potreros	Milpa, frijol, café, flores (gladiolas y rosas) tomate, potrero
<i>Uso potencial</i>	Potreros, floricultura	Fruticultura, floricultura	Cafeticultura, fruticultura, floricultura	Cafeticultura, potreros, floricultura	Floricultura, potreros

El maíz se cultiva comúnmente asociado con frijol y/o calabaza, configurando complejos sistemas de cultivo, denominados bajo el vocablo nahuatl “milpa” (Figura 11). La producción de flores comprende gladiolas y rosas. Las zonas de bosque natural representan una pequeña proporción de la superficie municipal.



Figuras 10 y 11 potreros para el pastoreo de bovinos y terrenos bajo cultivo de milpas

Desde una perspectiva ecológica y socioeconómica es posible postular dos grandes zonas: la primera, integrada por “El Relicario” y “San Antonio”, comprende áreas con altitud menor, con vías terrestres de transporte muy inapropiadas y terrenos bajo propiedad privada;<sup>3</sup> la segunda zona se integra por “El Carmen”, “Ninamhó” y “Cabecera Municipal”, con mayor altitud, mejores vías de comunicación, cercanas a la cabecera municipal y situadas dentro del ejido.<sup>4</sup>

### **Cartografía del uso de la tierra**

En la Figura 12 se observan los usos del suelo considerando cultivos, potreros, bosque y asentamientos humanos. En la categoría potreros/frijolares la agrupación fue inevitable, ya que no es posible sobre la imagen diferenciar color entre ambos. Situación similar ocurre con la categoría de cafetal/frutales, que comprende tanto cafetales como plantaciones de diversos árboles frutales.



La extensión espacial de las plantaciones con frutales es muy reducida y es posible además encontrar dichas plantaciones en complejos arreglos topológicos con imbricaciones dentro del cultivo principal, es decir, el café (Figura 13). La presencia de cafetales por encima de la cota de 1700 msnm es poco común y sobre los 1800 msnm es prácticamente nula.

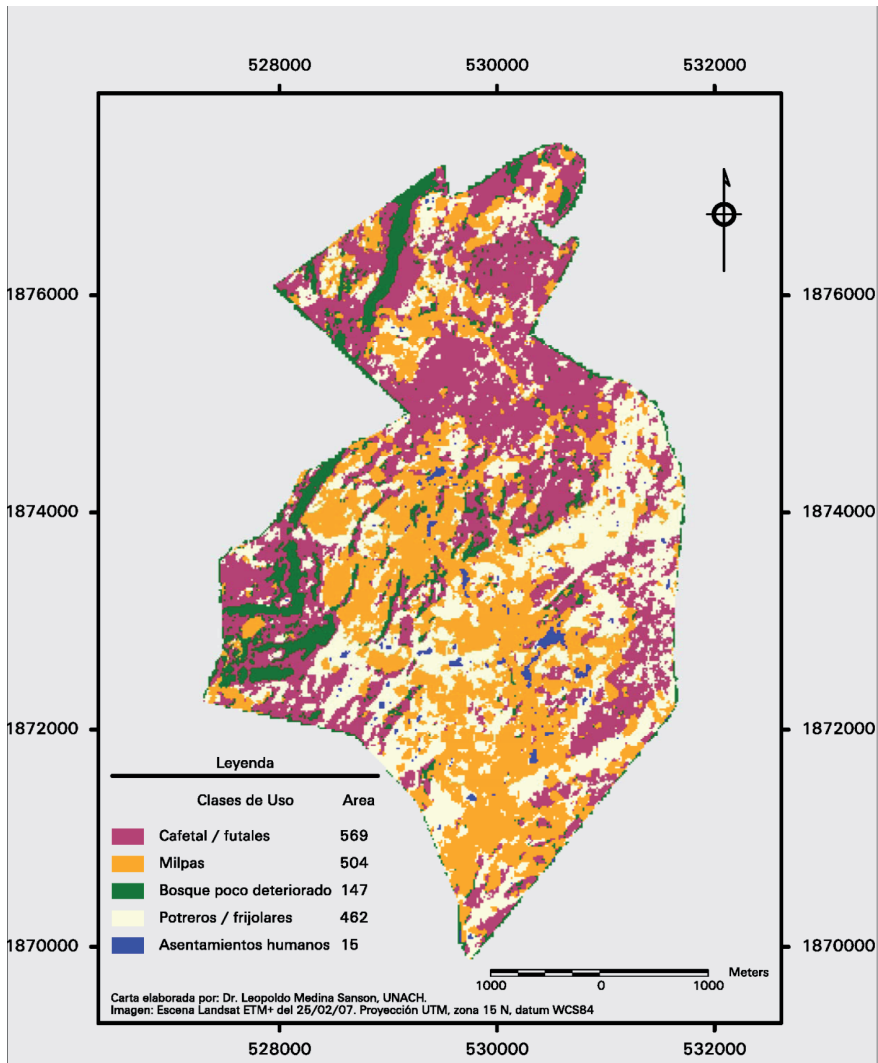


Figura 12. Principales usos de la tierra en Santiago el Pinar



**Figura 13.** Estructura vegetal de cafetales tradicionales con tres estratos arbóreos: alto, con especies de sombra y maderables (chalum), medio, con frutales diversos (plátano) y bajo (café).

### **Distribución, importancia y problemas asociados con los principales tipos de uso de la tierra a escala local y municipal**

La información correspondiente a la superficie bajo uso agrícola del suelo fue registrada paralelamente a los datos aportados por el SIG a través de entrevistas y talleres participativos, tal como se muestra en la Tabla 2. Se registraron aspectos coincidentes y diferencias entre las estimaciones de superficie para cada tipo de uso a escala municipal entre las clases del SIG y la información de los talleres, según se observa en la Tabla 3.

Destaca la similitud en los registros para las superficies de la clase potrero/frijolares con la suma de ambas estimaciones derivadas de los talleres; del mismo modo ocurre con el café y las plantaciones de frutales.

**Tabla 2.** Importancia de uso agrícola de la tierra en Santiago el Pinar considerando: colonia, número de habitantes, tipo de cultivo y superficie correspondiente (ha)

Colonia	N° de personas	Milpa	Frijol	Café	Frutales	Flores	Hortalizas	Total Colonia	%
<i>Cabecera</i>	1100	15	15	50	0	0	0	80	7
<i>Choyó</i>	480	50	50	60	6	0	0	166	14.6
<i>Ninamhó</i>	400	60	20	70	0	0	0	150	13.2
<i>Nachón</i>	400	4	3	10	2	0	0	19	1.7
<i>Boquém</i>	350	50	20	50	5	0	0	125	11
<i>Xchuch</i>	280	20	20	25	3	0	0	68	6
<i>Pechultón</i>	260	40	20	60	20	0	0	140	12.3
<i>El Carmen</i>	260	23	5	30	3	0	0	61	5.4
<i>Kal-om</i>	230	20	20	50	2	3	5	100	8.8
<i>Pusilhó</i>	200	20	20	30	6	0.2	0	76.2	6.7
<i>El Relicario</i>	120	8	8	10	2	1	0.5	29.5	2.6
<i>San Antonio</i>	100	15	15	20	10	0.2	0	60.2	5.3
<i>Chiquinchén</i>	50	17	17	25	2	0	0	61	5.4
<i>Superficie total -cultivo % del total</i>		<b>342</b>	<b>233</b>	<b>490</b>	<b>61</b>	<b>4.4</b>	<b>5.5</b>		
<i>agrícola estimado</i>		<b>30.1</b>	<b>20.5</b>	<b>43.1</b>	<b>5.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>		
<b>TOTALES</b>	<b>4230</b>							<b>1135.9</b>	<b>100</b>



**Tabla 3.** Comparación a escala municipal entre la superficie bajo diferentes usos agropecuarios de la tierra, estimados mediante el SIG y los talleres participativos (ha)

<i>Cultivo</i>		<i>Milpa</i>	<i>Potrero</i>	<i>Frijolar</i>	<i>Café</i>	<i>Frutales</i>	<i>Flores</i>	<i>Hortalizas</i>
<i>Superficie total de cada cultivo</i>	Talleres	342	200	233	490	61	4.4	5.5
	SIG	504	462		569		ND	ND

En la producción de maíz (milpa) es evidente la diferencia. Dentro de los factores que intervienen en ésta pueden ser importantes: las imprecisiones de las imágenes LANDSAT, con resolución de 15 m, la fecha de la imagen, dos años anteriores a las estimaciones de los participantes, las cuales tienen a su vez un margen de error asociado con el dinamismo espacial de muchas de estas parcelas, mismas que interactúan estrechamente en sistemas de rotación con los potreros; no obstante, debe considerarse la retroalimentación y validación participativa final de los registros generados a través del SIG.

Asociando los valores de la Figura 8, con los datos de la Tabla 3 y los registros de información relacionada durante los talleres, se identifica el perfil productivo y económico; mismo que se describe brevemente a continuación:

**Café.** Es el cultivo con mayor superficie ocupada y su destino principal es la venta; se cultivan variedades de la especie arábica, principalmente café borbón y caturra además de algunas plantas, escasas y dispersas, de maragogipe. El cafetal es un sistema complejo que comprende diversos árboles frutales y especies nativas que aportan sombra, combustible y materiales para cercado y construcción. No se fertiliza y la aplicación de productos para controlar la broca y roya del café son escasas o nulas. El periodo de corte es desde noviembre hasta marzo, el producto se comercializa frecuentemente despulpado y seco. La productividad estimada es de 1 ton/ha de café cereza, que se traduce en aproximadamente 0.5 ton/ha de café pergamino seco.<sup>5</sup>

**Maíz.**<sup>6</sup> Ocupa el segundo lugar por superficie, se destina casi totalmente a consumo, se cultivan variedades adaptadas localmente y practican dos ciclos: junio-octubre y noviembre-marzo; su producción es con

instrumentos manuales, sin fertilización, bajo procedimientos tradicionales; aunque en ciertos casos, en las parcelas más accesibles y entre campesinos con mayores recursos se aplican herbicidas. Se reporta productividad promedio de 0.9 ton/ha.

**Frijol.** Posteriormente se ubica la clase potreros / frijolares dentro de la cual, de acuerdo con las estimaciones hechas por los habitantes locales, la superficie destinada para alimentación animal es alrededor de 200 ha, lo cual se traduce en alrededor de 262 ha cultivadas con frijol, con base en los registros obtenidos a través del SIG. Los registros de superficie con este cultivo corresponden a las siembras en monocultivo, a lo cual debe agregarse la producción que se obtiene en asociación con maíz, difícil de contabilizar. La tecnología productiva es similar al caso del maíz, con escasa o nula fertilización y mediante instrumentos manuales de labranza. Se reporta productividad promedio de 0.6 ton/ha.

**Potreros.** Comprenden principalmente parcelas en descanso, generalmente de maíz o frijol, con ubicación espacial variable, comúnmente adyacentes a plantaciones con café o frutales, que son aprovechados para la alimentación animal a campo abierto. Los animales, tanto bovinos como equinos, se amarran con lazos de 5 m de diámetro y reubican tres veces al día; así, no son en realidad de terrenos bajo descanso. El periodo de rotación entre cultivos y sitios de pastoreo suele ser de uno o dos años. Existen casos, aislados, de pastizales establecidos, en donde se delimita con postes y alambre de púas para evitar el ingreso de animales a cultivos adyacentes; la mayoría de estos pastizales se ubica en la zona de propiedad privada, al norte del municipio.

**Bosque.** Los terrenos con bosque nativo poco deteriorado ocupan una superficie relativamente reducida y se concentran en sitios distantes o inaccesibles. Algunas especies nativas, como el chalum (*Inga sp.*) son importantes como reguladoras de sombra en los cafetales y fuente para leña. Destacan como vegetación dominante especies de encinos (*Quercus sp.*) y pinos (*Pinus sp.*).

**Asentamientos humanos.** Representa menos de 1% de la superficie pero tiene una importancia crítica, considerando que se trata de un municipio económicamente muy pobre y con densidad poblacional muy elevada, de manera que procesos descontrolados de crecimiento poblacional y

urbanización pueden comprometer severamente la estabilidad, ya precaria, de muchas familias. Durante las sesiones de talleres se registró que en colonias como San Antonio y Chiquinchén muchas familias no disponen de reservas patrimoniales de terrenos para dotar a sus descendientes de espacio para establecer sus viviendas.

La Tabla 4 muestra el perfil pecuario municipal y local. Se reconoce la importancia generalizada de las gallinas; otra especie son los cerdos, presentes en casi todas las localidades.

**Tabla 4.** Existencias de especies pecuarias en las localidades de Santiago el Pinar (septiembre / 2009)

<i>Colonia</i>	<i>gallinas</i>	<i>pavos</i>	<i>patos</i>	<i>cerdos</i>	<i>ovinos</i>	<i>bovinos</i>	<i>caballos / mulas</i>
<i>Cabecera</i>	200	200	100	100	0	150	100
<i>Choyó</i>	250	50	50	100	0	80	120
<i>Pechultón</i>	400	100	0	200	0	120	100
<i>Ninamhó</i>	200	100	0	50	0	200	100
<i>Kal-om</i>	200	50	0	50	0	200	150
<i>Boquém</i>	150	100	10	50	0	150	50
<i>El Carmen</i>	185	50	0	50	0	150	50
<i>El Relicario</i>	500	50	0	0	0	40	8
<i>San Antonio</i>	250	100	50	10	5	200	50
<i>Xchuch</i>	200	20	0	50	0	20	20
<i>Pusilhó</i>	180	20	0	60	0	50	20
<i>Chiquinchén</i>	200	20	20	2	30	3	5
<i>Nachón</i>	350	100	70	80	0	100	100
<b>TOTALES</b>	<b>3265</b>	<b>960</b>	<b>300</b>	<b>802</b>	<b>35</b>	<b>1463</b>	<b>873</b>

Existen propietarios de ganado bovino en las 13 localidades; no obstante, a escala familiar su impacto es muy limitado, restringiéndose a pocas familias que disponen de suficiente superficie con pastizal u otras áreas agrícolas susceptibles de asignar a la alimentación de bovinos o equinos. La presencia de equinos ocurre en todas las localidades; en contraste, se observa aprovechamiento poco menos que nulo de patos en el caso de aves y de ovinos en rumiantes.

Los habitantes locales reportan niveles de productividad sumamente bajos para todos los cultivos y en pastizales es deficiente también. Los forrajes disponibles de las 200 ha estimadas permiten suponer que bajo las actuales circunstancias es sumamente difícil, en términos generales, incrementar las existencias de bovinos y equinos.

Así, la economía municipal tiene un perfil definido y característico de muchas comunidades campesinas e indígenas de Chiapas y América Central, integrado por un cultivo orientado a obtener ingresos, es decir, el café y cultivos alimenticios con base en la dupla maíz frijol.

Se crían aves como parte de la estrategia alimenticia familiar (Tablas 4 y 5), en tanto que los cerdos representan un recurso complementario destinado a consumo, sobre todo en fechas festivas o bien se vende para obtener ingresos; este segundo propósito orienta particularmente la producción de ganado bovino de sus productores, que compran fuera de Santiago el Pinar animales destetados y los engordan alrededor de un año, con el fin de venderlos a intermediarios, procedentes de municipios vecinos, quienes acuden a los predios de los habitantes locales y compran el ganado en pie. En la Tabla 5 se marcan con negritas los tres valores más altos en la relación de existencias de cada especie entre el número de habitantes de cada colonia; de este modo es posible reconocer una marcada tendencia, en el caso de las gallinas, a ser más relevante en las colonias pequeñas, situación que puede asociarse con la importancia de obtener alimentos sin desembolso económico, en un escenario local de menos alternativas para obtener ingresos en efectivo; en todo caso, destaca la importancia de las aves de traspatio en hogares de todas las colonias.

**Tabla 5.** Importancia relativa de las especies en función del número de habitantes de cada colonia.

Colonia	Nº de habitantes	Gallinas / habitante	Pavos / habitante	Patos / habitante	Cerdos / habitante	Bovinos / habitante	Equinos / habitante
<i>Cabecera</i>	1100	0.2	<b>0.2</b>	0.1	0.1	0.1	0.1
<i>Choyó</i>	480	0.5	0.1	0.1	<b>0.2</b>	0.2	0.3
<i>Ninamhó</i>	400	0.5	<b>0.3</b>	0.0	0.1	0.5	0.3
<i>Nachón</i>	400	0.9	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	0.3	0.3
<i>Boquém</i>	350	0.4	<b>0.3</b>	0.0	0.1	0.4	0.1
<i>Xchuch</i>	280	0.7	0.1	0.0	<b>0.2</b>	0.1	0.1
<i>Pechultón</i>	260	1.5	<b>0.4</b>	0.0	<b>0.8</b>	0.5	<b>0.4</b>
<i>El Carmen</i>	260	0.7	<b>0.2</b>	0.0	<b>0.2</b>	<b>0.6</b>	0.2
<i>Kal-om</i>	230	0.9	<b>0.2</b>	0.0	<b>0.2</b>	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>
<i>Pusilhó</i>	200	0.9	0.1	0.0	<b>0.3</b>	0.3	0.1
<i>El Relicario</i>	120	<b>4.2</b>	<b>0.4</b>	0.0	0.0	0.3	0.1
<i>San Antonio</i>	100	<b>2.5</b>	1.0	<b>0.5</b>	0.1	<b>2.0</b>	<b>0.5</b>
<i>Chiquinchén</i>	50	<b>4.0</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	0.0	0.1	0.1
<i>Municipio<sup>7</sup></i>	4230	0.8	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2

Destacan también los equinos, presentes en todas las colonias, lo cual se explica por su importancia como animal de transporte en un ambiente dependiente totalmente de leña para la preparación de alimentos, con la existencia de parcelas en sitios inaccesibles a vehículos y escasez de dinero para pagar el desplazamiento de productos agrícolas desde los terrenos agrícolas hasta los puntos de consumo o venta.

En la producción de bovinos se observa un valor atípico en la colonia San Antonio; lo anterior se explica porque la colonia comprende predios de propiedad privada, que comprenden ranchos de personas externas al municipio que practican la ganadería bovina bajo pastoreo extensivo.

Con excepción de la producción porcina, en la que es común el empleo de alimentos balanceados como base de la dieta, la cría de animales domésticos depende de la disponibilidad de maíz, residuos de la alimentación familiar, esquilmos agrícolas y recursos forrajeros, de manera que la dinámica de las actividades pecuarias es indisociable y muy sensible a la del uso agrícola de la tierra y el aprovechamiento de la sucesional ecológica en las tierras de cultivos anuales bajo descanso.

### **Principales problemas y sus causas en torno a las especies agrícolas aprovechadas**

En 6 de las 13 colonias del municipio, se realizaron entrevistas a integrantes de familias, quienes al momento de la visita estuvieron presentes y accedieron a brindar información, misma que se integró con datos obtenidos durante los talleres para reconocer los grandes problemas percibidos por los habitantes locales en las principales modalidades del uso agropecuario de la tierra. Los resultados correspondientes se presentan de manera integrada en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Principales problemas en el uso de la tierra en Santiago el Pinar.

<i>Actividad</i>	<i>Principales problemas</i>	<i>Causas</i>
<i>Maíz</i>	Bajo rendimiento	Manejo inapropiado y agotamiento del suelo, falta de fertilización por escasez de dinero.
	Daño al cultivo por factores climáticos	Insuficiencia o exceso de humedad (esto último en el periodo de lluvias torrenciales, sobre todo durante octubre-noviembre), ocurrencia de vientos intensos.
	Abundancia de poblaciones de arvenses	Falta de recursos para control mecánico y químico.
	Daño a las plantas por plagas y animales	Presencia de diversas plagas, ingreso de animales a los cultivos, falta de recursos para adquirir pesticidas.
<i>Frijol</i>	Disponibilidad de agua para el cultivo	Insuficiencia y / o exceso de humedad en el suelo.
	Daño a las plantas (destrucción, caída de flor)	Presencia de plagas, ingreso de animales a los cultivos, vientos intensos.
	Bajo rendimiento	Agotamiento del suelo, falta de agroquímicos y recursos para comprarlos.
<i>Café</i>	Daño por enfermedades, plagas y factores climáticos.	Roya ( <i>Hemileia vastatrix</i> ) y broca ( <i>Hypothenemus hampei</i> , Ferrari), lluvia y viento.
	Escasa rentabilidad	Bajo precio pagado al productor.
	Bajo rendimiento	Falta de tiempo y recursos para labores de mantenimiento, falta de renovación de cafetales, baja calidad de semilla.

<i>Forrajes</i>	Lento desarrollo	Factores climáticos (temperaturas extremas muy variables) y fertilidad del suelo
	Daño por plagas	Salivazo
	Escasez de forraje	Espacio insuficiente para producción, falta de sistemas de riego.
<i>Frutales</i>	Daño por plagas	Chinche (mango) caída de flor (durazno), daño de frutos (presencia de gusanos en aguacate), falta de recursos para establecer medidas de control.
	Daños por factores no identificados	Naranja (frutos picados y podridos, caída de flor).
<i>Otros cultivos</i>	Daño por factores climáticos	Caída de la flor (chayote), muerte de plantas por frío o cambio drástico de clima (tomate, gladiolas)
	Bajo rendimiento	Manejo inapropiado y agotamiento del suelo, escasa o nula fertilización por escasez de dinero.
	Daño por plagas	Falta de recursos para adquirir pesticidas.

La tabla anterior remite a una condición generalizada de factores naturales y socioeconómicos adversos para el desarrollo de sistemas agropecuarios de uso de la tierra que permitan mejorar las condiciones de vida de los habitantes de Santiago el Pinar a la vez que establecer alternativas de aprovechamiento duraderas.

De este modo la zonificación es, en el contexto del presente trabajo, sinónimo de una estratificación local con alcance municipal de variaciones ambientales y requerimientos tecnológicos, en donde todos estos estratos evidencian un panorama común de necesidades de desarrollo del capital social, humano y físico, con miras a impulsar procesos de organización, capacitación, poder de gestión y negociación comunitario y municipal.



### **Consideraciones finales**

Si el propósito de zonificar el paisaje es definir líneas de trabajo que puedan apuntar hacia procesos de desarrollo en los ámbitos familiar y comunitario, entonces, en primera instancia, puede estratificarse para conocer los recursos naturales y esquemas productivos vigentes, bajo la consideración de que éstos normalmente guardan relación con aspectos de naturaleza ecológica. Desde esta óptica, es pertinente estratificar en términos de: ¿qué hay? (recursos para la producción), ¿en dónde? y ¿por qué está allí?

Lo anterior puede realizarse con apoyo en dos grandes referentes: el primero es el seguimiento de los procesos de trabajo y obtención de los bienes relevantes asociados a las actividades agrícolas, pecuarias y forestales a partir del intercambio de información con los representantes comunitarios, considerando la presencia de todos los sectores integrantes de las familias y comunidades; el segundo es el empleo y la aplicación participativa de recursos tecnológicos modernos, concretamente aquellos derivados de los sensores remotos y recursos para su procesamiento y para el análisis de información geográfica (GIS).

Las variables y escalas empleadas para caracterizar las zonas agropecuarias son cualitativas; no obstante, desde una perspectiva de estudio del paisaje con propósitos de planeación, evidencian una precisión significativamente mayor que los datos oficiales disponibles, elaborados a escalas de 1:250,000. Además, aportan información que puede servir para emprender estudios técnicos acerca de la solidez y utilidad en el contexto local y regional de tales criterios y escalas. Los datos climáticos de los reportes oficiales, presentados a escala 1:250000, son muy generales e inexactos. Según dicha información (INEGI, 2009), el municipio comprende tres unidades: templado subhúmedo en una estrecha franja situada al sur, semicálido subhúmedo en la mayor parte y cálido subhúmedo en una pequeña porción del extremo norte.<sup>8</sup> Estas restricciones de información dificultan la evaluación pormenorizada de la estratificación agroclimática de los campesinos locales; en todo caso, ésta contrasta en precisión con los registros oficiales actuales.

En cuanto al alcance participativo de la investigación, se concluye que el contexto económico, político y cultural bajo el cual se construye el diálogo entre investigadores, autoridades y representantes de las comunidades determina el alcance de la participación. Así, destaca que las normas políticas locales del municipio en que se realizó la investigación no contemplan la elección de mujeres a cargos de representación, como los de presidente o agente municipal, de manera que es difícil rescatar la perspectiva con visión de género, situación que se complica por el hecho de que la mayoría de las mujeres adultas tienen un dominio del idioma español muy limitado y generalmente inferior que los hombres.

Las líneas anteriores llevan a reconocer la profunda connotación ética de la investigación participativa en la medida en que los investigadores, toda vez que son aceptados a escala comunitaria y les son abiertas las puertas de hogares, deben ser cuidadosos en las apreciaciones, juicios y datos que emiten y divulgan, sobre todo cuando éstos son externos y desconocidos por parte de dichos habitantes. Por otra parte, enfrentan el reto de dar continuidad a su trabajo y promover la construcción de comunidades de reflexión y aprendizaje, que conduzcan hacia reformulaciones profundas de las relaciones sociales correspondientes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez M.A., Fernández M.B y Ruiz L.G. (2008). “La zonificación de los usos del suelo como herramienta estratégica para el ordenamiento del territorio y el desarrollo sustentable”. *Revista Huellas* 11: 27-40.
- Alvisu J., De la Riva J., García M., Ibarra P. y Sessé P. (1999). “Zonificación paisajista para la planificación territorial: El caso de las directrices del bajo Aragón”. *Geographicalia* 37: 1-11.
- Barrera-Bassols N., Zinck J.A. and Van Ranst E. (2009). “Participatory soil survey: experience in working with a Mesoamerican indigenous community”. *Soil Use and Management* 25: 43-56.

- Burguete C.A. y Leyva S.X. (2007). “La remunicipalización en Chiapas: entre la paz y la contrainsurgencia”. En: *La remunicipalización de Chiapas. Lo político y la política en tiempos de contrainsurgencia*. H.Cámara de Diputados LX Legislatura —Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social— Miguel Ángel Porrúa, librero editor, México, pp. 23-44.
- Cleveland D. (1998). “Balancing on a planet: toward an ecological anthropology for the twenty-first century”. *Human Ecology Journal* 26 (2): 323-341.
- Conapo. Índice de marginación a nivel localidad (2005). Consejo Nacional de Población [en línea]. Actualización no registrada. [Fecha de consulta: 20 octubre 2008]. Disponible en: [http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=46&Itemid=205](http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=205)
- Corbett J.M. and Keller C.P. (2005). “An analytical framework to examine empowerment associated with participatory geographic information systems”. *Cartographica* 40 (4): 91-102.
- Delgado E.N., Couto E.V. e Dos Passos M.M. (2009). A evolução da paisagem do município de Novo Itacol mi: uma abordagem ambiental. *Maringá* 31 (2):197-204
- Dunn C. (2007). Participatory GIS – a people’s GIS? *Progress in Human Geography* 31(5): 616-637.
- Dubois (2009). Le paysage, enjeu et instrument de l’aménagement du territoire. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 13 (2): 309-316.
- Elwwod S. (2006). “Critical issues in participatory GIS: Deconstructions, reconstructions, and new research directions”. *Transactions in GIS* 10 (5): 693-708.
- FAO (1997). Zonificación agro-ecológica. Guía general. *Boletín de Suelos de la FAO* 73 ONU, Roma.
- Franklin S.E. (2001). *Remote sensing for sustainable forest management*. Lewis Publishers. USA
- Fraser C.S. and Ravanbakhsh M. (2009). Georeferencing Accuracy of Geocye-1 Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 2009: 634-638.
- Hengl T. and Rossiter D. (2003). “Supervised landform classification to enhance and replace photo-interpretation in semi-detailed soil survey”. *Soil Science Society of America Journal* 67 (6): 1810-1822.
- Herlilihy P. and Knapp G. (2003). “Maps of, by, and for the peoples of Latin America”. *Human Organization* 62 (4): 303-314.

- INEGI. II Censo de población y vivienda 2005. Resultados por localidad. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Sistema Nacional de Información Estadística y Geografía [en línea]. Actualización 2006. [Fecha de consulta: 17 diciembre 2008]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/centeo2005/localidad/iter/default.asp?s=est&c=10395>
- INEGI. Mapa digital de México. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Sistema Nacional de Información Estadística y Geografía [en línea]. Actualización no registrada. [Fecha de consulta: 14 mayo 2009]. Disponible en: <http://galileo.inegi.org.mx/website/mexico/viewer.htm?sistema=1&s=geo&c=1160>
- Johnson L.M. (2000). "A place that's good? Gitskan landscape perception and ethnoecology". *Human Ecology*, 28 ( 2): 301-325.
- Kimmerer R.W. (2002). "Weaving traditional ecological knowledge into biological education: a call to action". *BioScience* 52:432-438.
- Kindon S., Pain R. and Kesby M. (2007). "Participatory action research. Origins, approaches and methods". En: *Participatory action research approaches and methods. Connecting people, participation and place*. Edited by Sara Kindon, Rachel Pain and Mike Kesby. 1º Ed. Routledge. New York. Pp 9-18.
- Lynam T., De Jong W., Sheil D., Kusumanto T. and Evans K. (2007). "A Review of tools for incorporating community knowledge, preferences, and values into decision making in natural resources management". *Ecology and Society* 12 (1): 5 [online]
- National Research Council Staff – NRCS - (2002). *Down to the Earth: Geographic Information for Sustainable Development in Africa*. National Academic Press, Washington D.C.
- Nelson V. (2009). "The sensibility of aesthetic landscape concepts in the case of British West Indies travel narratives, 1815-1914". *Journal of Cultural Geography* 26 (2):149-171.
- O'Rourke E. (2005). "Landscape Planning and Community Participation: Local Lessons from Mullaghmore, the Burren National Park, Ireland". *Landscape Research* 30 (4): 483-500.
- PNUD (2005). Índice de desarrollo humano municipal en México. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México, D.F.
- Puri S.K. (2007). Integrating Scientific With Indigenous Knowledge: Constructing Knowledge Alliances for Land Management in India. *MIS Quarterly* 31 (2): 355-379.

- Romero T.A., Orozco H.M., Carreto B.F., Mireles L. P., Espinosa R.L. (2000). *Espacio Geográfico*. 1° ed. Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Strömquist L. and Backéus I. (2009). “Integrated landscape analyses of change of Miombo woodland in Tanzania and its implication for environment and human livelihood”. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 91 (1): 31-45.
- Turner M. (2003). “Methodological Reflections on the Use of Remote Sensing an Geographic Information Science in Human Ecology Research”. *Human Ecology* 32 (2): 255-279.
- Urquijo T.P. y Barrera B.N. (2009). “Historia y paisaje. Explorando un concepto geográfico monista”. *Andamios*, 5 (10): 27-252.
- Weng Q. (2009). *Remote sensing and GIS integration theories, methods, and applications*. Mc Graw Hill, USA.
- Zhongxin Chen, Sen Li, Jianqiang Ren, Pan Gong, Mingwei Zhang, Limin Wang, Shenliang Xiao and Daohui Jiang. (2008). “Monitoring and management of agriculture with remote sensing”. En: *Advances in land remote sensing*. Springer, USA, pp.397-421.

#### Notas finales

- 1 Es decir, menos de \$8.50 USD diarios, considerando la cotización del salario mínimo mexicano y la paridad del peso con respecto al dólar americano el 10 de enero de 2010.
- 2 Una referencia acerca de la naturaleza del ejido mexicano y sus problemas, sobre un estudio regional, puede consultarse en: Juárez, Pedro, Mayoral, Roser y Ramírez, Benito. Impacto de la Reforma Agraria Neoliberal en una Región Campesina de México. Resultados en el Objetivo de Potenciar el Mercado de Tierras. *Cuadernos Geográficos* Universidad de Granada, España 2006, n.171, p. 31-44.
- 3 Los linderos del ejido de Santiago el Pinar coinciden con el límite sur de la zona “El Relicario”.
- 4 Las familias de ejidatarios cuentan con una dotación original de tierras y, bajo tenencia ejidal, pueden gozar de diversos programas de oficiales de apoyo a la producción.
- 5 Se define como café cereza el fruto cosechado al que no se le ha retirado la pulpa y café pergamino seco al que ha sido despulpado y secado al sol, siendo esta última la forma principal como se transforma y comercializa por los cafeticultores locales.
- 6 Entendido, según fue ya señalado, como cultivo principal en sistemas de cultivo que pueden comprender policultivos con frijol, calabaza y eventualmente otras especies de ciclo anual.
- 7 Valor calculado a escala global, es decir, relacionando el total de existencias de cada especie sobre el total de habitantes del municipio.
- 8 Esta información puede visualizarse en el sitio del INEGI, en: <http://galileo.inegi.org.mx/web-site/mexico/>



# PROGRAMA DE SIMULAÇÃO PAMPA CORTE PARA BOVINOS DE CORTE E OVINOS: DESENVOLVIMENTO E PERSPECTIVAS

*V.C.P. Silveira*

**RESUMEN** Los modelos de simulación son herramientas que reducen tiempo y costo en la experimentación de campo. El modelo Pampa Corte fue diseñado para simular el crecimiento del de carne en una forma mecanística y dinámica. Se consideró el desarrollo de dos sub-modelos animal, el primero simula la ingestión y digestión del alimento y predice la producción diaria de energía metabolizable y proteína digestible. El segundo modelo utiliza la salida del sub-modelo anterior para simular los cambios en el peso vivo del animal. En esta investigación los resultados fueron comparados con datos obtenidos de experimentos de campo. En este experimento fueron empleados novillos de raza Hereford x Nelore los cuales recibieron suplementación desde el destete hasta el momento del sacrificio a los 14 meses de edad. Se llevaron a cabo tres simulaciones para comparar los datos del experimento real con el simulado. Los resultados mostraron un ajuste adecuado de las predicciones del modelo Pampa Corte para el caso de bovinos machos en pastoreo y bajo suplementación.

**Palabras clave:** modelo animal, modelo ganado de carne, modelo ovino, simulación, sistemas de finalización

**SUMMARY** Simulation Models are tools that can be used to reduce time and cost of field experimentation. The PAMPA CORTE model was developed to simulate the growing beef cattle in a dynamic and mechanistic way. Two individual animal sub-models are considered. The first simulates

Universidade Federal de Santa Maria, DEAER - UFSM  
Prédio 44 - CCR2 - Sala 5110D, Santa Maria - RS, Brasil CEP 97105-900. vicentesilveira@smail.ufsm.br

the ingestion and digestion of food and predicts the daily productions of the amount of metabolic energy and digestible protein. The second considers these productions to simulate the changes of live weight of the animal. In this research, the results of the simulations from the model were compared with the data obtained from the field experiment. The Hereford x Nelore crossbreed was supplemented from after weaning to slaughtering at 14 months old. Three simulations were made to compare the real data with the simulated data from the model. The simulation results from the PAMPA CORTE model showed a great performance in the simulation of the gaining of crossbred males supplemented in natural pasture.

**Key words:** animal model, beef cattle model, sheep model, simulation, finishing systems

## INTRODUÇÃO

A ciência precisa de um enfoque sistêmico para diagnosticar a realidade humana, pois duas grandes mudanças ocorreram na sociedade contemporânea. A primeira mudança seria o desenvolvimento tecnológico, que permite um domínio da natureza e o segundo estaria ligado ao fator globalização, já que antes as civilizações eram limitadas por fronteira geográficas e compreendiam somente grupos limitados de seres humanos. Dentro dessa realidade, muda-se o padrão das análises que antes eram feitas em categorias separadas e isoladas (von Bertalanffy, 1975). Assim, a teoria geral dos sistemas surge como ferramenta para lidar com as diversas complexidades e as idéias comuns às várias áreas do conhecimento, visando compreender os princípios da integralidade e da auto-organização em todos os níveis.

Os sistemas complexos naturais são modelados utilizando técnicas matemáticas dinâmicas que incluem equações diferenciais. Isto implica em resultados distintos das retas lineares, saídas dos sistemas de mesmo nome, nas quais os efeitos são diretamente proporcionais às causas que os geraram. Ao contrário, nos sistemas dinâmicos, as mudanças resultarão em respostas de diferentes magnitudes associadas ao número de relações dos elementos constitutivos, considerando o fator tempo e sua memória: os estados prévios influenciam nos estados atuais (von Bertalanffy, 1975; Silveira, 1999).



A ciência, por seu caráter evolutivo, vem utilizando os sistemas complexos nas áreas de neurociências, meteorologia, física, informática, economia, biologia molecular, na predição de eventos naturais como terremotos, maremotos, furacões, tremores de terra; bem como na agricultura.

Uma revisão do desenvolvimento de modelos de simulação para uso em sistemas agropecuários foi descrito por Jones *et al.* (1997). Na década de 1950 a análise se concentrava no orçamento das propriedades. O início da década de 1960 contou com o surgimento da programação linear, com mudanças na orientação dos modelos para minimização de custos e maximização de recursos. Neste caso, se assumia que o objetivo principal do produtor se situava em âmbito econômico. Nos anos 1980 os enfoques das simulações permitiam estudar melhor as interações dos diferentes componentes dos sistemas de produção através de híbridos de programação linear. Os estudos mais recentes destacam que os pesquisadores assumem a premissa de que as características sociais devem ser incorporadas às tomadas de decisão.

Assim, a metodologia sistêmica baseia-se na análise do processo de organização de cada elemento e nas inter-relações entre eles, ou seja, a idéia do todo passa pelas riquezas das interconexões, das interfaces entre os elementos, e não do número de elementos, não sendo um mero agregado, amontoado ou soma de partes (Alves & Silveira, 2008). A configuração do enfoque sistêmico das análises setoriais assumiria, assim, a descrição apresentada na Figura 1.

Silveira (1999) descreve os sistemas de produção agropecuários como sendo resultantes da integração de quatro fatores: humano, animal, vegetal e cultural. No caso do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, os animais estariam representados por bovinos e ovinos, as pastagens podem ser naturais ou implantadas em associação (ou não) com as culturas de verão, sequeiro ou irrigadas, e de inverno, combinados na dependência dos fatores sócio-culturais do gaúcho. Isto determinaria sistemas (ou cenários) de produção particulares. Partindo da premissa de que incrementos sustentáveis de produtividade e competitividade necessitam de informações atualizadas, o processo global de

tomada de decisões pelo produtor rural seria facilitado se fossem simuladas alternativas compatíveis com a real situação dos produtores rurais.

As informações usadas pelo produtor podem ser classificadas como “natural” e “simuladas”, onde “natural” são aquelas baseadas em experiências, informações e conhecimento e que são adaptadas à novas circunstâncias para a resolução de seus problemas. Por outro lado, “simuladas” são aquelas baseadas em dados científicos quantitativos (Silveira, 2002). Fornecer informações simuladas é o propósito do modelo Pampa Corte, o qual, procura simular o desenvolvimento corporal de bovinos de corte, que combinados com os fatores inerentes aos sistemas de produção agropecuários, resultariam em cenários bio-econômicos alternativos (Trevisan *et al.*, 2008). Portanto, assim reduziria a distância entre a geração das pesquisas, normalmente realizadas sob uma ótica quantitativa e sua extensão ao meio rural, que requer classificação e análises rápidas (Ferreira *et al.*, 2002). Neste contexto, é necessário considerar que o alto nível de imprevisibilidade inerente aos sistemas de produção pastoris (variáveis físicas, ambientais e sociais) implica que o manejo nestes sistemas tem que serem adaptativos e flexíveis para considerar a dinâmica e as relações entre os elementos do mesmo (Bernués *et al.*, 2006).

Entretanto, problemas com banco de dados na utilização dos modelos nas mais diferentes escalas persistem. Herrero *et al.* (2007) afirma que embora esforços tenham sido realizados para estabelecer padrões na formação de banco de dados para os componentes dos sistemas (animais, culturas, solos) pouco tem sido feito a nível sistêmico.

No atual contexto quando os problemas ambientais passam a fazer parte das agendas econômicas de negociações, devemos recordar que os problemas ambientais possuem impactos globais, porém as suas soluções passam obrigatoriamente por decisões tomadas a escala locais/regionais.

Suporte tecnológico tem sido oferecida aos produtores com a finalidade de aumentar a eficiência produtiva e fornecer subsídios para as suas tomadas de decisões; entretanto, os métodos tradicionais de pesquisa e extensão estão sendo cada vez mais questionados principalmente, quanto às variáveis custo

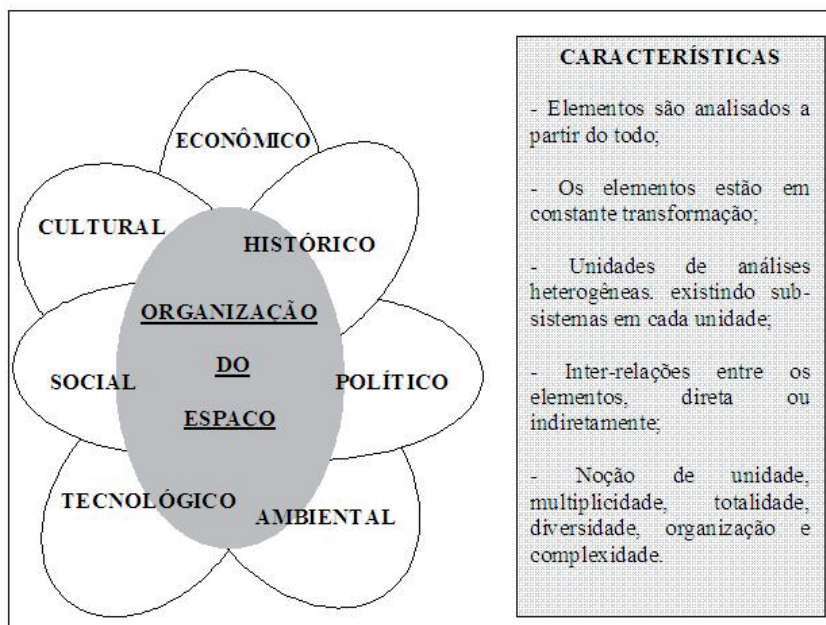
e tempo necessário para oferecer soluções aos problemas enfrentados pelos produtores. Diferenças entre tratamentos só podem ser pertinentes para o ano e as condições específicas do experimento. Outras circunstâncias podem negar ou mesmo inverter prioridades de tratamentos. Repetição durante anos só amplia o custo sem necessariamente melhorar a informação obtida. Além disto, resulta em demoras inaceitáveis pelos usuários finais (Dent, 1996).

O uso de modelos de simulação é uma ferramenta útil para redução do tempo e do custo da experimentação de campo. Os modelos são classificados como empíricos ou mecanísticos. Modelos mecanísticos requerem que os processos simulados tenham uma base física ou fisiológica, enquanto, modelos empíricos consistem em funções que são escolhidas arbitrariamente para ajustar medidas de campo ou laboratório. Modelos empíricos são então local específico e não transferível para zonas agro-ecológicas (Dent *et al.*, 1994). Modelos mecanísticos, devido ao seu princípio, podem ser transferíveis e pode ser usados para explorar uma gama extensiva de tratamentos em locais diferentes que seriam impossível com experimentação de campo, devido ao custo e tempo requerido. Estes são importantes ferramentas que permitem a integração dos dados obtidos em experimentos e em estudos de laboratório pertinentes a um sistema.

#### DESENVOLVIMENTO:

O modelo Pampa Corte foi desenvolvido com a finalidade de simular o desenvolvimento corporal de bovinos de corte e posteriormente adaptado para ovinos, de uma maneira mecanística e dinâmica, por meio do uso de equações diferenciais integrais. Na Figura 2, pode ser observada a estrutura geral do modelo considerando o nível de animal e de rebanho.

Para simular o desempenho animal individual foram considerados dois sub-modelos. O primeiro sub-modelo, simulou a ingestão e a digestão do alimento e prediz as produções diárias da quantidade de energia e proteína metabólica disponível para a produção. O segundo, considera estas produções e prediz as mudanças de peso vivo do animal.



**Figura 1.** Abordagem sistêmica ou enfoque sistêmico de análise. Fonte: Alves & Silveira, 2008

Para a simulação de um rebanho o modelo assume que cada grupo de animais tem uma distribuição normal com 68 % de animais entre a média e um desvio padrão, 27% entre 2 e 3 desvios-padrão e o restante mais que 3 desvios padrões (Anderson *et al.*, 1994). Conseqüentemente, cinco pontos na curva de distribuição normal foram escolhidos como “pontos de simulação” (Figura 2) que são extrapolados para os animais sob influência deste ponto. O número mínimo de animais no rebanho para que três pontos de simulação sejam preenchidos é oito. Porém, os cinco pontos de simulação são simulados quando o rebanho tiver no mínimo 34 animais. Este enfoque visa reduzir o tempo de uso do processador da máquina e a redução do espaço em disco tornando mais eficiente o processo. Portanto, independentemente se o rebanho contém 50 ou 500 animais o tempo de processamento e espaço físico ocupado na máquina será o mesmo.

Para simular o desempenho animal individual foram considerados duas etapas. A primeira simula a ingestão e a digestão do alimento e a segunda prediz as mudanças de peso vivo do animais. Os sub-modelos de ingestão e

digestão estão baseados no modelo descrito por Herrero (1997), o qual tem como base os modelos de Illius & Gordon (1991) e Sniffen *et al.* (1992). Este usa um time-step de uma hora. A ingestão diária do alimento pelo animal é obtida como a soma de refeições individuais simuladas para cada 24 horas. Para esta simulação a capacidade máxima de rúmen é considerada. A refeição acontece quando o conteúdo de matéria seca (MS) do rúmen é menor que 70% de capacidade (Illius & Gordon,1991). A maneira na qual

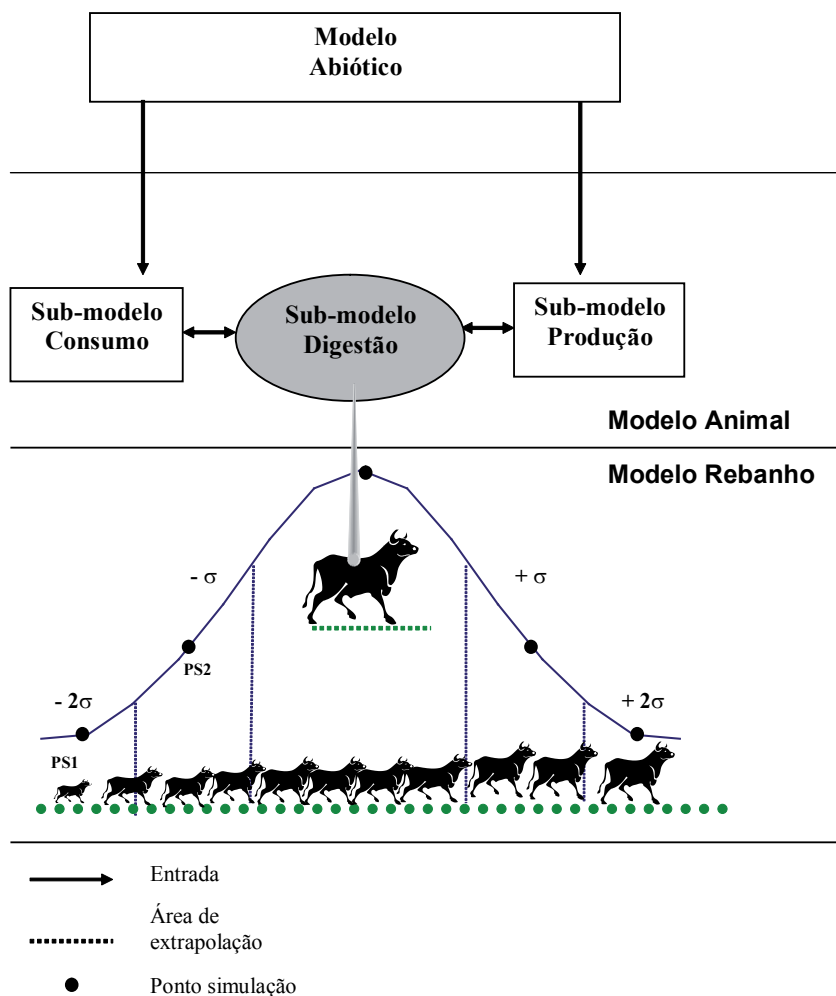


Figura 2. Diagrama do modelo animal. Fonte: Silveira, 2002

o conteúdo de MS do rúmen é obtido e as variáveis associadas com os processos de digestão pode ser encontrado em Illius & Gordon (1991) e Herrero (1997). Estes modelos consideram somente restrições físicas ao consumo. Isto é aceitável quando a meta principal é simular desempenho animal em sistemas pastoris, em que a dieta está basicamente composta por forragens e a proporção de concentrado é baixo. Por conseguinte, é esperado que a digestibilidade da MS esteja abaixo do ponto de restrição metabólica (Van Soest, 1994). Porém, em situações onde ocorre restrição metabólica de consumo dois problemas devem ser tratados. Como o sub-modelo aplicado está desenvolvido para o sistema extensivo de ruminantes. Conseqüentemente, assume que o conteúdo celular é totalmente degradável, o que é válido no caso de forragens, porém não no caso de concentrados, por sua composição e alto conteúdo celular. Para sanar este erro, se considera que a degradabilidade média para este fração de 95%. Outra limitante do modelo inicial é que considera somente restrições físicas ao consumo, enquanto que com o consumo de concentrados as restrições são do tipo metabólico. Assim, foi gerada uma equação redutora de consumo (RC) com base no AFRC (1993):  $RC = 24.567 \times qm^2 - 34.694 \times qm + 12.918$ . Portanto, quando o nível energético da dieta é maior que 11 MJ/kg MS o  $qm = 0.59$ , a equação calculada atua diretamente sobre a capacidade do rúmen restringindo o consumo.

Fatores ambientais e efeitos da oferta de alimentos precisam ser considerados na simulação de sistemas pastoris, por exercerem grande influência na performance animal no caso de bovinos, visto que estes fatores não são considerados em ovinos. Para simular os efeitos ambientais, a revisão feita pelo NRC (1981) sobre o efeito dos mesmos no consumo de alimentos por animais domésticos foi considerada. O efeito de temperatura é considerado quando esta estiver fora da faixa de conforto (15 a 25°C). Temperaturas acima de 25°C reduzem o consumo dos animais. CSIRO (1990) considera 1% de redução para cada grau acima de 25°C. Esta mesma suposição é assumida no modelo. Temperaturas abaixo de 15°C sem chuva estimulam o consumo do animal. NRC (1981) estima estas variações entre

2 e 5% para temperaturas de 5 a 15°C e aumentos de até 10% a - 15°C. Considerando este fato, o modelo simula aumentos de consumo de 1% para cada 3oC quando a temperatura é menor do que 15°C. Porém, baixas temperaturas associadas com chuva causam uma depressão de 10 a 30% no consumo (NRC, 1981). O efeito da baixa temperatura associada a chuva também é considerado no modelo. Neste caso o consumo é reduzido em 1% para cada grau abaixo de 15°C, em dias chuvosos. A disponibilidade de forragem é outra restrição importante no consumo em sistemas pastoris. A aproximação da relação entre disponibilidade (abaixo de 1200 kg/MS) e consumo adotada pelo NRC (1996) é utilizada no modelo.

O modelo de produção, que simula os processos de crescimento e engorda em bovinos de corte, foi desenvolvido considerando modelos e dados do ARC (1980), AFRC (1993), CSIRO (1990) e NRC (1996) para bovinos. No caso de ovinos foram utilizados os dados do ARC (1980), AFRC (1993). Para simular condições de animais em regime de pastejo, o modelo deve considerar os diferentes níveis de energia e proteína a que os animais podem ser submetidos diariamente, durante o crescimento e a engorda. Seis situações foram consideradas no modelo: a) fornecimento de energia e proteína inferior ao exigido para manutenção; b) fornecimento de proteína inferior ao exigido para manutenção; c) fornecimento de energia inferior ao exigido para manutenção; d) fornecimento de energia e proteína em equilíbrio ao exigido para manutenção; e) fornecimento de energia e proteína em equilíbrio ao exigido para manutenção, com proteína que limita o ganho máximo; f) fornecimento de energia e proteína em equilíbrio ao exigido para manutenção, com energia que limita o ganho máximo.

Para considerar qual o nível alimentar que o animal é submetido, o modelo de produção calcula a quantia de energia metabólica e proteína necessário para manutenção do mesmo. A quantidade de proteína metabólica, g/dia, e de energia, MJ/dia, exigido para manutenção é calculado considerando o peso vivo do animal, segundo o AFRC (1993).

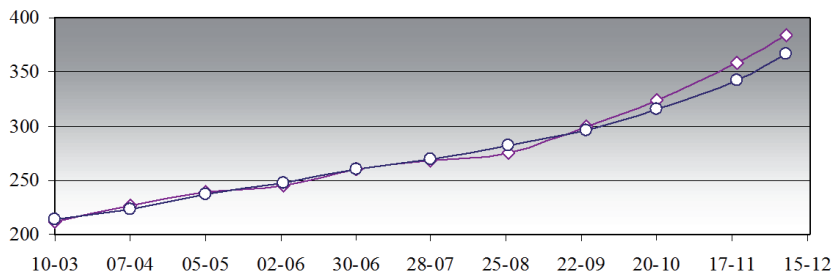
## **Simulações**

A comparação entre os resultados da simulação e os dados reais de ganho de peso de bovinos suplementados em campo nativo é apresentada na Figura 3 (Silveira, 2002). Foram feitas três simulações para comparar os dados reais com os dados simulados pelo modelo. A primeira simulação não considera a capacidade seletiva dos animais, as outras simulações consideram a capacidade de seleção do animal durante o pastoreio, com um incremento na qualidade da dieta, numa percentagem de cinco e dez por cento acima dos valores laboratoriais. Na Figura 3a, quando a seletividade animal não foi considerada, a curva de ganho de peso simulada pelo modelo apresenta uma boa concordância com os dados obtidos no campo. Porém, o ganho de peso dos animais durante a primavera foi mais rápido que o simulado pelo modelo. Um aumento de 5% na qualidade da dieta (Figura 3b) reduz esta diferença na primavera, mas uma pequena diferença no período de inverno pode ser percebida. Esta diferença é maior quando um aumento de 10% na qualidade de dieta é considerado (Figura 3c). Porém, a este nível de qualidade de dieta, a predição do peso vivo final tem um excelente performance.

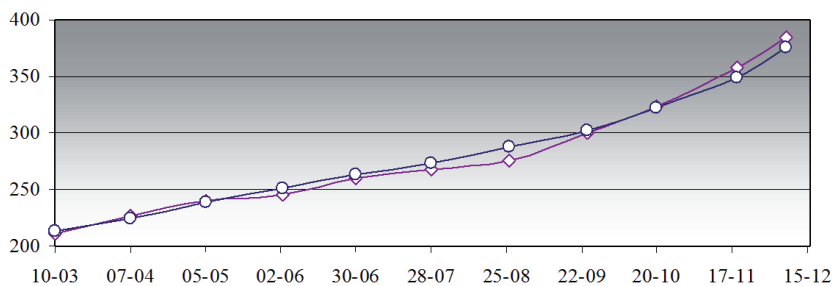
Em outras simulações que teve como objetivos explorar os resultados de experimentos disponíveis na literatura, que possuem semelhanças com os sistemas de produção pecuária do Rio Grande do Sul, verificou-se a confiabilidade do Modelo Pampa Corte como gerador de cenários. Neste caso, os trabalhos testados foram aqueles que dispunham de desempenho animal e qualidade das pastagens cultivadas de aveia preta, azevém e milho com e sem suplementação e pastagem natural sem utilização de suplemento (Trevisan *et al.*, 2009). Neste trabalho uma importante função desempenhada pelos modelos foi comprovada. Um dos fundamentos do estudo de sistemas através da modelagem é apontar as carências de dados das pesquisas existentes até o momento. Os ganhos em evolução científica serão proporcionais ao empenho dos pesquisadores em definir como objetivos de suas pesquisas o que realmente ainda falta desvendar. No desenvolver deste trabalho alguns destes gargalos foram detectados.

A consorciação das espécies aveia preta e azevém, embora bastante

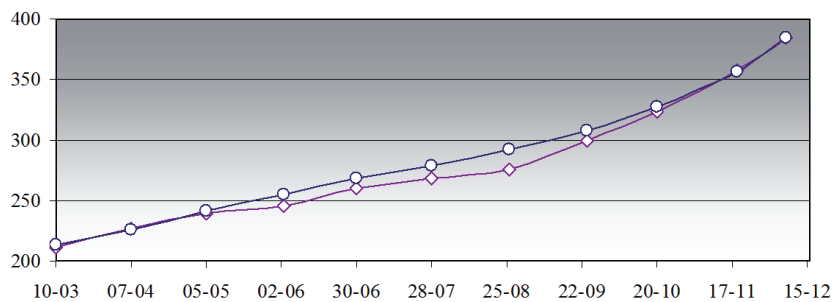




a) Simulação do ganho de peso (kg) sem considerar seleção de dieta

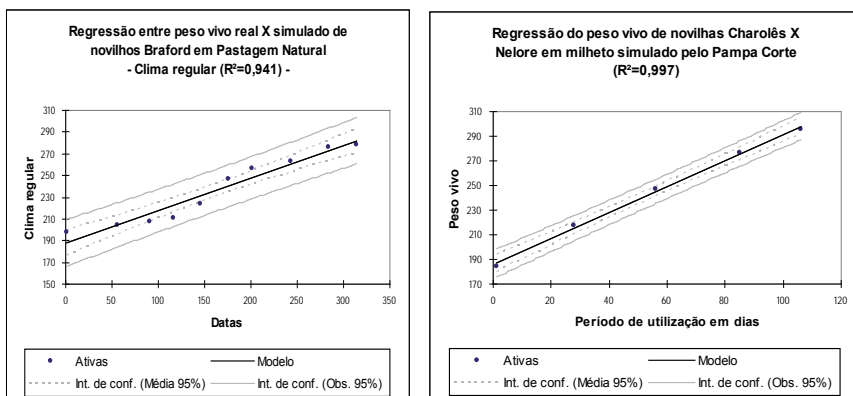


b) Simulação do ganho de peso (kg) considerando 5 % de seleção de dieta



c) Simulação do ganho de peso (kg) considerando 10 % de seleção de dieta

**Fig 3.** Comparação do ganho de peso animal no experimento com o obtido por meio de simulação, considerando seletividade animal ( --à-- Real, --o-- Simulado).  
Fonte: Silveira, 2002.



**Figura 4.** Comparação do desempenho real X simulado pelo pampa Corte.  
 Fonte: Adaptado de Trevisan et al., 2009

difundida nos sistemas de produção pecuários gaúchos não foi ainda pesquisada quanto à degradabilidade da proteína bruta como parâmetro qualitativo. Da mesma forma também não foram encontrados dados correspondentes ao desempenho de animais suplementados nas pastagens singulares de azevém ou aveia preta. Isso limitou o leque de comparações entre os sistemas reais e simulados pelo Pampa Corte.

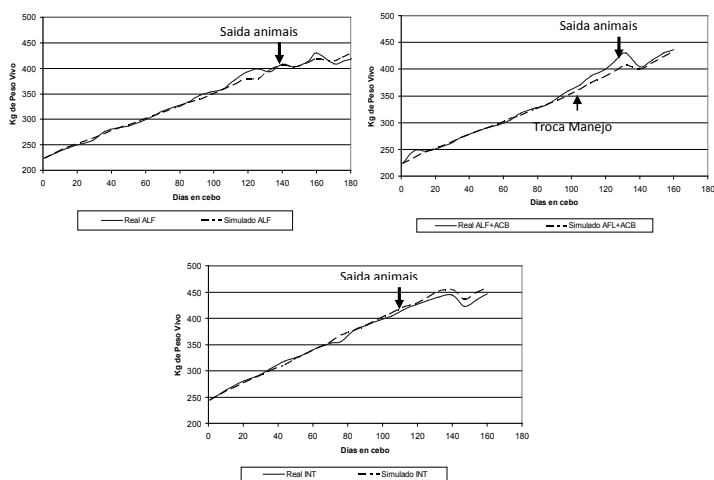
O modelo também foi testado visando prever os ganhos de bovinos nos sistemas tradicionais e alternativos de terneiros na Espanha (Silveira *et al.*, 2009a). O modelo estimou satisfatoriamente o crescimento e a terminação dos animais, embora tenha sido menos preciso quando houve trocas de manejo dos animais que envolvia modificações fisiológicas, ou seja, troca do sistema de pastejo para confinamento total (Figura 5).

Quanto a simulações com ovinos em crescimento e terminação é necessário considerar o grande número de raças e variabilidade genética presente. Este fato decorre de que ao contrário do que ocorre com bovinos, tanto de corte como de leite, a espécie ovina é criada nas mais diferentes regiões do planeta sem que as diferentes populações adquiram algum grau de parentesco. Este fato decorre basicamente do fato das dificuldades do uso de sêmen congelado e embriões, quer seja por fatores fisiológicos e/ou econômicos. Enquanto em bovinos de corte e leite a propagação das

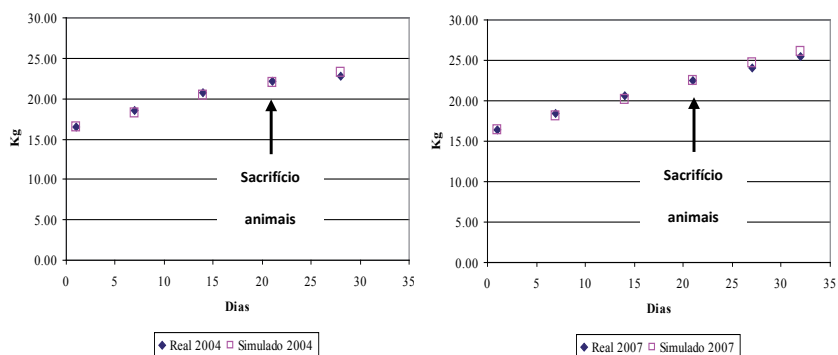
técnicas reprodutivas estão bem estabelecidas e tem grande importância econômica, em ovinos muitas vezes encontramos situações de rebanhos pertencente a mesma raça, numa região geográfica relativamente próxima, mas com características diferentes, decorrentes do efeito do meio ambiente e da seleção imposta pelo proprietário dos animais. Assim, provavelmente está é uma das razões para a reduzida disponibilidade de modelos de simulação em ovinos.

A adaptação do modelo Pampa Corte para ovinos considera as equações do ARC (1980) e AFRC (1993). Nesta primeira fase foi testado somente com animais terminados em confinamento. O sistema mais comum de produção de cordeiros na região mediterrânea, especialmente na Espanha, é um sistema de manejo intensivo baseado em desmame precoce (45-60 dias) e subsequente alimentação com concentrado em ordem a se obter carcaças leves chamadas de “Ternasco” ou “Recental” com 18 a 26 kg de peso vivo. Este sistema é altamente dependente dos preços dos grãos e subprodutos, portanto, modelos de simulação que permitam gerar cenários alternativos podem contribuir na tomada de decisão dos produtores.

Para a avaliação do modelo foram utilizados os dados experimentais



**Figura 5.** Evolução do peso vivo médio real e simulado em diferentes sistemas de engorda.  
 Fonte: Silveira *et al.*, 2009a

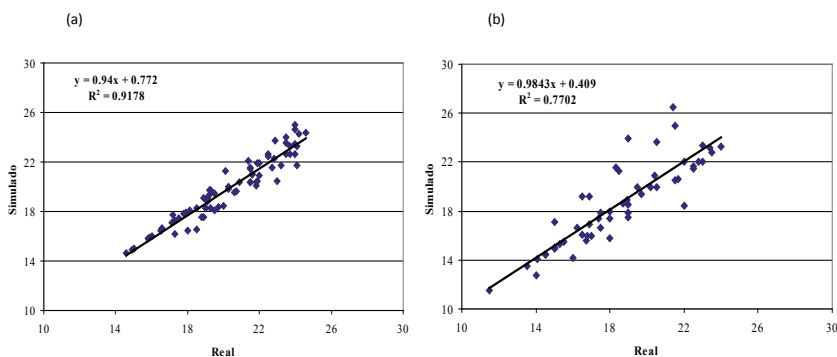


**Figura 6.** Crescimento real e simulado de lote de cordeiros da raça Churra Tensina nos anos de 2004 e 2007. Fonte: Silveira *et al.* 2009c

de 32 cordeiros da raça Churra Tensina, nascidos na primavera de 2004 e 2007, do rebanho da estação experimental La Garcipollera do CITA de Aragon. Todos os cordeiros foram pesados semanalmente e sacrificados à medida que alcançavam o peso objetivo de 22 kg. Os cordeiros foram desmamados entre 45 e 55 dias de idade e após o desmame os animais permaneciam estabulados recebendo ração comercial e palha de cevada a vontade (Silveira *et al.*, 2009c). Na Figura 6 podemos observar os resultados simulados pelo modelo quando comparado com os dados experimentais, onde se verifica a ótimo desempenho do modelo para os dois anos avaliados, principalmente até o início do abate dos animais que alcançavam o peso meta experimental (22 kg).

Semelhantemente ao verificado por Silveira *et al.* (2009b), quando separamos os animais em dois lotes, ou seja, aqueles que foram abatidos somente ao final do período experimental daqueles que alcançaram o peso meta em pesagens anteriores verificamos melhores respostas para o grupo de abate precoce (Figura 7).

O fato de uma pior predição para animais do grupo tardio decorre provavelmente do fato que nestes sistemas de produção são comuns animais com problemas sanitários, principalmente respiratórios. Estes problemas interferem no ganho de peso, entretanto, o modelo não contempla fatores



**Figura 7.** Valores real e simulado individual dos cordeiros da raça Churra Tensina. (a) sacrifício precoce (b) tardio. Fonte: Silveira *et al.* 2009c

sanitários, sendo uma clara indicação para o desenvolvimento e/ou adaptação de modelos que possam considerar estes fatores.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo foi testado com dados de crescimento de bovinos de corte com resultados satisfatórios. Os ganhos de peso estimados para animais em diferentes sistemas de alimentação foram próximos aos simulados (Silveira, 2002; Trevisan *et al.*, 2009). Posteriormente, o modelo adaptado para ovinos também apresentou bons resultados na simulação do crescimento de cordeiros da raça Rasa Aragoneza e Churra Tensina (Silveira *et al.*, 2009b; Silveira *et al.*, 2009c). Atualmente está sendo desenvolvida a adaptação do modelo para simular os aspectos reprodutivos de bovinos e ovinos.

Entretanto, os principais desafios são a incorporação de aspectos econômicos ligados as decisões do uso das alternativas de alimentação e a disponibilização do modelo em ambiente WEB. Para o desenvolvimento da interface com a WEB é importante considerar a linguagem PHP (Hypertext Preprocessor) originalmente denominada Personal Home Page, que se destaca entre as linguagens por ser multiplataforma, ou seja, aceita vários sistemas operacionais, como Windows, Unix, Linux, etc. Além disso, ela é de fácil aprendizado, pois permite a conexão direta com uma grande

quantidade de bancos de dados relacionais, enquanto outras ferramentas precisam de drivers ODBC para realizar a mesma tarefa. Entre os bancos de dados com conexão direta podemos citar: Oracle, Sybase, Informix, Postgresql, MySQL, mSQL, etc. Além de que o PHP é totalmente gratuito ( [www.php.net](http://www.php.net) ).

O modelo Pampa Corte pode ser utilizado para estimar ganhos de peso de animais suplementados ou não em pastagem nativa e cultivada. O modelo adaptado para a simulação de crescimento de ovinos apresentou alta precisão na simulação em sistemas intensivos de engorda de cordeiros na Espanha. O próximo objetivo a ser alcançado é o de uma versão completa para todas as fases produtivas de ovinos e bovinos disponíveis na WEB.

## BIBLIOGRAFÍA

- AFRC (1993). Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford: CAB International. 159 pp.
- Alves F.D. & Silveira V.C.P. (2008). A Metodologia sistêmica na geografia agrária: um estudo sobre a territorialização dos assentamentos rurais. *Sociedade & Natureza*, 20 (1): 125-137.
- Anderson D.R., Sweeney D.J. & Willians T.A. (1994). Introduction to statistics: concepts and applications. St. Paul: West Publishing Company.
- ARC (1980). The nutrient requirements of ruminant livestock. Slough, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux. 351 pp.
- Bernués A. *et al.* (2005). An integrated approach to studying the role of grazing livestock systems in the conservation of rangelands in a protected natural park (Sierra de Guara, Spain). *Livestock Production Science*, 96: 75-85.
- CSIRO (1990). Feeding standards for Australian livestock. Victoria: CSIRO publications. 266p.
- Dent J.B. (1996). "Theory and practise in FSR/E: Consideration of the role of modelling". En: CIRAD-SAR (Ed.), System-Oriented Research in Agriculture and Rural Development. (pp. 100-110). Montpellier: CIRAD-SAD.

- Dent J.B., McGregor M.J., & Edwards-Jones G. (1994). "Integrating livestock and socio-economic systems into complex models". En: A. Gibon & J.C. Flament (Eds.), *The study of livestock farming systems in a research and development framework*. (pp. 25-36). Wageningen: Wageningen Press.
- Ferreira G., Cardozo O., Lima J.M.S. (2002). "Modelo bio-económico para a toma de decisiones em engorde de novillos a pastoreo". In: *Modelos para a tomada de decisões na produção de bovinos e ovinos*. Editores: Everling, D.M.; Quardros, F.L.F.; Viégas, J. [et al.]. Santa Maria, Pallotti. p.121. 231p.
- Herrero M. (1997). Modelling dairy grazing systems: an integrated approach. University of Edinburgh. PhD Thesis. Edinburgh, UK.
- Herrero M. *et al.* (2007). IMPACT: Generic household-level databases and diagnostics tools for integrated crop-livestock systems analysis. *Agricultural Systems*, 92: 240–265.
- Illius A.W. & Gordon I.J. (1991). "Prediction of intake and digestion in ruminants by a model of rumen kinetics integrating animal size and plant characteristics". *Journal of agricultural science*, 116: 145-157.
- Jones J.W., Thornton P.K., & Hansen J.W. "Opportunities for systems approaches at the farm scale". En: P.S. Teng, M.J. Kropff, H.F.M. ten Berge, J.B. Dent, F.P. Lansigan, & H.H. van Laar (Eds.), *Applications of systems approaches at the farmer and regional levels*. (pp. 1-18). Kluwer Academic Publishers. 1997.
- NRC (1981). Effect of environment on nutrients requirements of domestic animals. Washington: National Academy. 152 pp.
- \_\_\_\_\_ (1996). Nutrient requirements of beef cattle. Washington: National Academy of Science. 242p.
- Silveira V.C.P. (1999). Farmer Integrated Decision Model: integration between beef cattle and rice production in Rio Grande do Sul, Brazil. Edinburgh: University of Edinburgh. PhD Thesis. Edinburgh, UK.
- \_\_\_\_\_ (2002). Pampa corte: a model that simulates beef cattle growing and fattening process. *Ciência Rural*, 32 (3): 543-552.
- Silveira V. C. P. *et al.* (2009a). "Aplicación del Modelo Pampa-Corte en Diferentes Sistemas de Cebo de Terneros". En: XIII Jornadas sobre producción animal. Anais. Zaragoza, España.
- \_\_\_\_\_ (2009b). "Adaptación del Modelo Pampa-Corte para la Simulación de Crecimiento de Corderos". En: XIII Jornadas sobre producción animal. Anais. Zaragoza, España.

- \_\_\_\_\_ (2009c). “Simulação do crescimento de cordeiros da raça Churra Tensina através do modelo Pampa Corte adaptado para ovinos”. In: 46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Anais... Maringá, Brasil.
- Sniffen C.J., O'Connor J.D., VanSoest P.J., Fox D.G. & Russell J.B. (1992). “A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability”. *Journal of Animal Science*, 70, 3562-3577.
- Trevisan *et al.* (2009). *Ciência Rural*, v. 39, 173-181.
- Van Soest P.J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Ithaca: Cornell University. 476 pp.
- Von Bertalanffy (1975). *Teoria geral dos sistemas*. 2ed. Petrópolis, Ed. Vozes.



# IDENTIFICACIÓN DE GRUPOS PRODUCTORES DE OVINOS A TRAVÉS DE FUNCIONES Y PROPÓSITOS Y SU RELACIÓN SOCIOECONÓMICA EN DOS COMUNIDADES MARGINADAS DEL ESTADO DE MÉXICO

*E. Sánchez Vera,<sup>1</sup>O.M. Guzmán,  
C. Arriaga Jordán, A. Espinoza Ortega,  
E. Martínez Castañeda*

**RESUMEN** Se analiza la importancia de la cría de ovinos de la gente pobre, a través del entendimiento de funciones y propósitos de los animales y la identificación de prioridades por parte de los productores. El trabajo es parte de un proceso de investigación para generar propuestas tecnológicas sustentables, de manera participativa, para mejorar la situación de la ovino-cultura de comunidades marginadas del Estado de México. Participaron 86 productores de dos comunidades, seleccionados por su propósito de producción con énfasis en ovinos. Se incluyó también un análisis de la relación socioeconómica de la propiedad de los ovinos. Análisis de Conglomerados y componentes principales fueron utilizados para obtener grupos de productores con características similares y determinar el peso de las variables en este proceso de agrupación. En el caso de la comunidad de Xicani, se encontraron tres grupos de productores, para quienes los ovinos son muy importantes en los estratos socioeconómico bajo y medio, mas no así para los del estrato alto. Fueron tres componentes o factores principales los que explicaron el 72.71% del total de la variabilidad de los datos, siendo las variables función para fiesta, función venta prevista y número de ovinos, las más importantes en la agrupación de los productores. En el caso de San

<sup>1</sup> Instituto de Ciencia Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México  
Carretera Toluca - Atlacomulco Km. 14.5, CP 50000 Toluca, México

Marcos, aun cuando no hay diferenciación en cuanto a estrato socioeconómico, se distinguen dos grupos bien definidos para los cuales los ovinos son una especie muy importante. Son cuatro componentes principales los que agrupan el 80.14% de la variabilidad total, y las variables más importantes en la agrupación fueron: número de ovinos, función para estiércol y alternativas. Desde el punto de vista metodológico, la identificación de grupos es de utilidad para caracterizar claramente los sistemas de producción y que las tecnologías puedan ser orientadas a los objetivos de cada grupo.

Palabras clave: investigación participativa, análisis de Conglomerado, análisis por agrupación, análisis de componentes principales

SUMMARY Sheep producers group identification through purposes and functions and their socioeconomic relationships in two marginal communities in the State of Mexico. In this paper the importance of sheep keeping by poor people is analyzed in two marginalized communities of the State of Mexico. This is done understanding the functions and purposes of those animals. Eighty six *campesinos* of two communities in the State of Mexico participated. The criteria used to select them was by production purposes with emphasis on sheep keeping. The analysis of the socioeconomic relationship of the property of the sheep was also included. Multivariate methods (cluster and main component analysis) were used to identify farmers groups that shared similar production characteristics. This was done to determine the weight of the variables in the grouping process. Three groups were identified in the case of the community of Xicani. Sheep are very important for the low and middle socio-economic strata but not for those of the high stratum. Three components or principal factors explained 72.71% of the total variability of the data. For celebrations, foreseen sales and number of sheep were the most important variables. In San Marcos no different strata were identified although two contrasting groups were identified and sheep were important for both. Four main components explained 80.14% of the total variation. The most important variables for the grouping were: number of sheep, manure production function and alternative item. This study is part of a research process aimed at generating technological alternatives to help to improve sheep production in poor communities of the State of Mexico. From the methodological point of view, the identification of groups is useful to characterize the production systems clearly so that technologies can be designed to meet the objectives and needs of each single group.

Key words: participation, participatory methods, breeding sheep, multivariate analyses, Conglomerado analyses, principal components analyses

## INTRODUCCIÓN

En México, la pobreza de los productores campesinos se ha incrementado. Se reconoce que en 1994 la cantidad de mexicanos en extrema pobreza ascendía a 17 millones y en el 2000 la cifra se incrementó a 27 millones, de los cuales dos tercios están en el campo (FMDR, 2000). Las actividades agropecuarias desarrolladas por los campesinos ya no constituyen la principal o única fuente de ingresos, sin embargo, para una gran mayoría de los productores pobres, la crianza ovina representa un importante papel de seguridad económica en dos sentidos principalmente; como actividad complementaria y como forma de ahorro accesible a las familias. La crianza ovina campesina es una de las actividades de subsistencia, cuya importancia está plenamente identificada por los campesinos ya que tienen diversas funciones y propósitos, sin embargo, existe poca información documentada al respecto.

En México, hacia el año 2007 existían 6' 240, 268 cabezas de ovinos y la producción en los últimos cinco años muestra una tendencia ascendente del 23% (Sagarpa, 2007). A pesar de ello, el volumen de producción nacional es deficitaria puesto que las importaciones de carne de ovino se han mantenido altas en los últimos años y actualmente representan el 43.48 % del consumo nacional. Sin embargo, actualmente su crecimiento se ha frenado por la falta de apoyos crediticios y las fuertes importaciones de productos pecuarios, además este sector se encuentra rezagado, con un atraso de más de 70 años, olvidado por políticas nacionales, económicas, tecnológicas y científicas; por esta razón se carece de una eficiente política de desarrollo ganadero sustentable y de la competitividad en el mercado internacional de la carne (Cano, 2008). El Programa Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios de México (Sagarpa, 2004) expone la problemática por la cual atraviesa la producción ovina, debido a que ésta cuenta con pequeños rebaños de baja productividad, escasa organización de los productores y alto porcentaje de problemas sanitarios.

Dentro de los hogares rurales pobres los ovinos cumplen varias funciones: a) la producción de alimentos básicos y orgánicos a muy bajo costo, donde no compiten con el hombre por alimento, ya que aprovechan residuos de cosechas como el rastrojo de maíz y/o pastos de áreas comunes; b) reducción de riesgos inherentes a la agricultura de temporal, ya que en caso de tener algún periodo de sequía o inundaciones los cultivos se pueden perder. Así los ovinos actúan como amortiguador económico de estas pérdidas; c) provee un uso continuo y completo de la fuerza de trabajo y recursos disponibles; d) asegura ingresos monetarios para amortiguar gastos esperados e inesperados (Arriaga *et al.*, 1999; Anderson, 1998), sobre todo en imprevistos tales como enfermedades, gastos fuertes de fiestas, etc. y d) proporciona proteína necesaria para consumo humano, al contener aminoácidos esenciales.

Por lo anterior, los ovinos son un componente importante dentro de las unidades familiares, a través de las funciones y propósitos que cumplen. Entendiendo por función, lo que hace el ovino en el sistema productivo en relación con otros componentes. Esto es, las interacciones que se establecen con él. Por ejemplo, ser materia prima para obtener subproductos como la leche, piel, lana, etcétera.

Por otra parte, los campesinos no necesariamente exteriorizan conscientemente todas las funciones que un componente puede tener en un sistema. Por lo tanto, las funciones de los ovinos que el campesino identifica y maneja plenamente y de las cuales tiene conciencia son llamados propósitos y son fuertemente dependientes del conocimiento del productor acerca del sistema.

Las principales funciones y propósitos que los ovinos pueden desarrollar dentro de un agro-ecosistema identificados plenamente en este artículo, dependen de aspectos físicos (capacidad de las especies para adaptarse al ambiente), económicos, sociales y la relación de la propiedad del ganado ovino.

Respecto de lo anterior, en las disciplinas tanto sociales como naturales se han realizado investigaciones enfocadas a las actividades de subsistencia de los campesinos, que les proporcionan beneficios económicos, sociales y

culturales. Una forma de llevar a cabo dichas investigaciones es mediante la aplicación de técnicas participativas, que se han utilizado con gente del medio rural para difundir, reforzar y analizar su conocimiento y condiciones de vida dentro de su contexto, así como para planear y actuar en diferentes programas y proyectos de investigación (Chambers, 1992). La investigación participativa también tiene la tendencia a ser usada para explicar algún acercamiento que involucre contacto con los campesinos y usuarios de tecnología (Martín y Sherington, 1997) visto desde una perspectiva de tipo social.

No obstante, la utilidad de los datos generados en la investigación participativa tiende a ser cuestionada por la crítica positivista. Los datos cualitativos, en particular, son generalmente vistos como subjetivos, casuales o no estructurados, y los datos cuantitativos, demasiado fragmentados como para establecer conclusiones generalizables.

Por lo anterior, existe un vacío entre acercamientos basados en validación a través de cuantificación y aquellos en los cuales se persigue el entendimiento cualitativo de aceptabilidad de tecnología, basado en validación campesina o usuarios de ésta (Martín y Sherington, 1997). Por esto, es evidente la necesidad de investigar la aplicación de otras formas de análisis estadísticos para los datos mencionados.

Sin embargo, los métodos estadísticos tradicionales usualmente requieren que un investigador formule alguna hipótesis y que use esos datos para aceptar o rechazar la misma hipótesis. Una situación alternativa que frecuentemente existe es un caso en el cual un investigador tiene una gran cantidad de datos disponibles y además se pregunta si eso pudiese ser información valiosa. Respecto a esto, la literatura de la investigación de mercado tiene muchos métodos donde se analizan variables de tipo numérico y cualitativo. Es importante entonces evaluar la aplicabilidad de algunos de estos métodos de análisis a la investigación participativa (Martín y Sherington, 1997). Tocante a esto, los métodos multivariados se han utilizado con buenos resultados con los datos obtenidos por técnicas participativas (Solano *et al.*, 2001).

En tal virtud, este estudio tiene como objetivo principal el identificar la importancia, a través de las funciones y propósitos, de los ovinos para

la gente pobre y su relación socioeconómica. Sin embargo, por ser la primera parte de un proyecto de investigación y transferencia de tecnología, es de utilidad en la identificación de grupos de productores, con el fin de proponer a futuro tecnología local más acorde al tipo y necesidades de los productores. Un objetivo adicional es analizar evidencia surgida de métodos participativos con el fin de sugerir si las técnicas multivariadas, pueden constituir una herramienta valiosa en este ámbito.

En este sentido, la recolección de datos se realizó mediante técnicas del enfoque participativo y se analizó la información generada con métodos estadísticos multivariados.

## MATERIAL Y MÉTODO

Las técnicas de la propuesta del enfoque de la investigación participativa rural son utilizadas por el proyecto de investigación internacional llamado “Análisis e Implementación de Acciones Concertadas para la Producción Animal Campesina del CICA de la UAEM<sup>2</sup>”. El enfoque permitió conocer las percepciones de la gente acerca de la importancia de la crianza animal dentro de su contexto y problemática, más que de las ideas preconcebidas de los investigadores.

Este enfoque participativo comenzó a aplicarse en la década de 1970 (Sánchez, 2001) y ahora es parte de lo que se conoce como investigación de sistemas agropecuarios. Éste surge como una necesidad de integración de los productores como actores y no como objetos. De esta manera, pueden interactuar con los investigadores y tomar decisiones acerca de las diferentes problemáticas en su comunidad, tomando en cuenta los diferentes aspectos que intervienen en su bienestar (sociales, culturales, políticos, naturales y económicos).

A partir del enfoque del proyecto mencionado, se realizó la elección de dos comunidades con base en el índice de marginación y la diversidad de animales, como se muestra en la Tabla 1.

2 Por sus siglas en inglés

**Tabla 1.** Características de las comunidades estudiadas

Variable	San Marcos de la Loma	Xicani
Municipio	Villa Victoria	San Bartolo Morelos
Municipio	Villa Victoria	San Bartolo Morelos
Latitud norte	19°29'58"	19°39'56"
Longitud oeste	99°57'32"	99°35'51"
Altitud	2720 msnm	2930 msnm
Población	2328 habitantes	322 habitantes
Grado marginación	Muy alta	Muy alta
Índice marginación	1.94	1.754

INEGI 2000

La primera comunidad es Xicani, que está situada en el municipio de San Bartolo Morelos en una zona montañosa; el acceso a esta comunidad hasta la fecha se encuentra sin pavimentar. A pesar de ser una comunidad de la etnia Otomí, la mayoría de los habitantes hablan español, se ubica a una altura de 2,930 msnm. Tiene un índice de marginación de 1.7033 según datos de COESPO (2000), el cual es considerado un índice alto de marginalidad.

La segunda comunidad es San Marcos de la Loma, que se encuentra en el municipio de Villa Victoria, con 2,328 habitantes y 776 viviendas particulares habitadas (GEM-INEGI, 1995). En esta zona se encuentra asentado parte del grupo étnico mazahua; su actividad predominante es la agricultura de subsistencia y la ganadería de traspatio. Existe rezago en la utilización de tecnología para mejorar la producción, hay deficiente o nula infraestructura productiva, escasa organización para la obtención de recursos que les permita superar la baja producción productividad, evidentes en las familias de estas zonas marginadas. Villa Victoria es considerado el municipio con más marginación del Estado de México, que tiene un índice de 2.5832, y la comunidad de San Marcos de la Loma tiene marginación de 1.9433 (COESPO, 2000).

Una vez seleccionadas las comunidades, los datos se obtuvieron por métodos participativos tales como:

*Entrevistas semiestructuradas* donde el objetivo es recolectar información general o específica mediante diálogos, donde se lleva una

guía de preguntas y puede evitar algunos de los efectos negativos de los cuestionarios formales (Geilfus, 2000).

*Matriz de dos vías* tipo de animal por propósito, la cual tiene como objetivo obtener información sobre los diferentes propósitos y funciones que tienen los animales en el sistema, para familias de niveles diferentes de bienestar (Geilfus, 2000).

*Matriz de funciones por alternativas*, las cuales tienen como propósito obtener información sobre las alternativas que reconocen los campesinos, para suplir las funciones que tienen los ovinos en el sistema de crianza animal (Anderson *et al.*, 2000).

*Observación directa e indirecta*, las cuales tienen como objetivo identificar diferentes aspectos que por la escasa confianza no se pueden preguntar abiertamente (Kirsopp, 1994).

*Ordenamiento de bienestar*, el cual tiene como objetivo conocer la situación socioeconómica de los productores de cada comunidad. La técnica que se utilizó es la individual, que consiste en realizar tarjetas que lleven el nombre de todas las familias de la comunidad, las cuales se les proporciona a los informantes clave que se establecieron antes, se toman las variables que percibe el informante por las que los clasifica como más pobres o menos pobres (Geilfus, 2000).

Las variables obtenidas de cada productor fueron:

NÚMERO DE OVINOS con que cuenta cada productor su cantidad.

IMPORTANCIA DE LOS ANIMALES: en la cual se obtiene la importancia de acuerdo con la percepción de los productores asignándole un valor diferente a cada especie.

FUNCIONES DE LOS OVINOS que desempeñan en el sistema de subsistencia; además, identificando la principal función de acuerdo con la percepción de los campesinos. Estas variables son diferentes en las dos comunidades, ya que los resultados obtenidos son la percepción de la gente. Resultando entonces un total de seis diferentes funciones (variables). Ejemplos se muestran en la Tabla 2.



**Tabla 2.** Ejemplos de la información de campo de las unidades de producción en San Marcos de la Loma, Estado de México

Unidad	Importancia	Funciones de los ovinos*								Propósito**	Alternativa	No.	Estrato
		Fiesta	Venta	Imprevisto	Comer	Estiércol	Venta prevista						
C-1	baja	0	0	1	0	0	0	0	0	aprovechar rastrojo	Nada	3	alto
C-2	baja	1	4	1	2	3	0	0	0	comer	comprar ovinos	9	bajo
C-3	alta	0	0	3	1	2	4	4	4	estiércol	comprar cerdos	25	alto
C-4	baja	4	2	0	3	0	1	1	1	cría	comprar ovinos	6	medio
C-5	alta	3	4	1	0	2	0	2	0	cría	comprar ovinos	18	bajo
C-6	alta	0	2	4	0	3	1	3	1	venta prevista	comprar ovinos	15	bajo
C-7	media	5	0	2	3	1	4	4	4	sobrevivir	Nada	30	bajo
C-8	alta	0	2	4	3	0	1	1	1	tradicción	conseguir dinero	8	bajo
C-9	media	4	0	3	0	1	2	2	2	venta imprevista	comprar ovinos	12	bajo
C-10	media	0	4	2	3	1	0	1	0	venta imprevista	pedir a medias	4	bajo
C-11	alta	2	1	6	3	5	4	4	4	venta imprevista	ahorrar	5	bajo
C-12	Alta	2	1	0	4	0	3	3	3	venta imprevista	conseguir dinero	8	alto

\*Los valores asignados representan la importancia 1= Muy Importante 5=No importante

\*\*A la variables discretas se les asignó valor en escala tipo Likert 1, 2, 3, etcétera.

PROPÓSITOS que desempeñan los ovinos en la subsistencia de los productores pobres.

ALTERNATIVAS productivas en caso de no contar con la especie y el costo que representaría el no contar con los animales.

ESTRATO SOCIOECONÓMICO al que pertenece cada productor.

Estas 11 variables fueron obtenidas con 50 productores de cada comunidad de los cuales se tomaron solo los que poseían ovinos, quedando así: 46 productores en la comunidad de Xicani y 40 productores para la comunidad de San Marcos de la Loma, un ejemplo de los resultados obtenidos en campo se muestran en la Tabla 2.

A la información obtenida mediante estas técnicas se le aplicó un análisis por métodos estadísticos multivariados, el cual incluye un “Análisis por Agrupación” para obtener grupos de productores, y un “Análisis de Componentes Principales” para establecer la importancia relativa que tienen las variables en la agrupación de los productores, con el paquete computacional Statistica.

El análisis que realiza el procedimiento por agrupación es de tipo exploratorio y define grupos tan distintos como sea posible en función de los propios datos (Dallas, 1998). El procedimiento utiliza varias medidas de distancias (Hair *et al.*, 1998). La usada en este estudio es la distancia euclidiana, la cual es calculada a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Distancia} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (\text{Dallas, 1998}).$$

La razón más importante para realizar un análisis de componentes principales (PCA) en este estudio, es usarlo como una herramienta para ayudar a validar los resultados del análisis por agrupación y explicar el comportamiento de las variables, por lo que no es necesario interpretar los componentes principales (Hair *et al.*, 1998).

El análisis de componentes principales realiza en cada muestra matrices de varianza y co-varianza o matrices de correlación (Dallas, 1998; Hair *et al.*, 1998).

## RESULTADOS

### Análisis de componentes principales

#### *Xicani*

Los resultados del análisis de componentes principales se muestran en la Tabla 3, donde se puede observar que son tres componentes o factores principales, los que explican el 72.71% del total de la variabilidad de los datos. En la segunda columna se muestran los Eigenvalores correspondientes a cada factor. En la tercera columna se observa el porcentaje total de varianza para cada factor y las dos últimas columnas son los acumulativos de las dos columnas anteriores, respectivamente.

**Tabla 3** Eigenvalores (Importancia en Xicani) Extracción componentes principales.

Factor	Eigenvalores	% de la varianza total	Eigenvalores acumulados	% Acumulado
1	4.085439	37.14036	4.085439	37.14036
2	2.123817	19.30743	6.209256	56.44778
3	1.789397	16.26725	7.998653	72.71503

Los Eigenvectores se muestran en la Figura 1, el paquete estadístico calcula los 11 valores posibles de los componentes principales para cada productor de la base de datos de eigenvectores y realiza una segunda base de datos.

En la Figura 1 se observa que las variables que tienen relaciones fuertes con el primer componente, llamado eje de la relación socioeconómica, son: estrato socioeconómico (0.205), importancia (-0.213) y la función para comer (-0.210), donde la relación entre el estrato socioeconómico y las variables importancia y función para comer es inversa. De tal forma que si un productor es de estrato socioeconómico alto, los ovinos son una especie no muy importante. Tal es el caso de “Don Miguel”, quien mencionó: *A mí los ovinos únicamente me sirven solo cuando tengo alguna visita (fiestecita), pero si no tengo animales, compro uno en el puente*, lo que indica que para los campesinos del estrato socioeconómico alto la crianza de los ovinos es con el objeto de venderlos, y el hecho de no contar con ovinos en el hogar

no significa mucho, porque de igual forma los pueden adquirir. Entonces, los ovinos no son indispensables y esto es evidente por el bajo número de ovinos que posee este estrato.

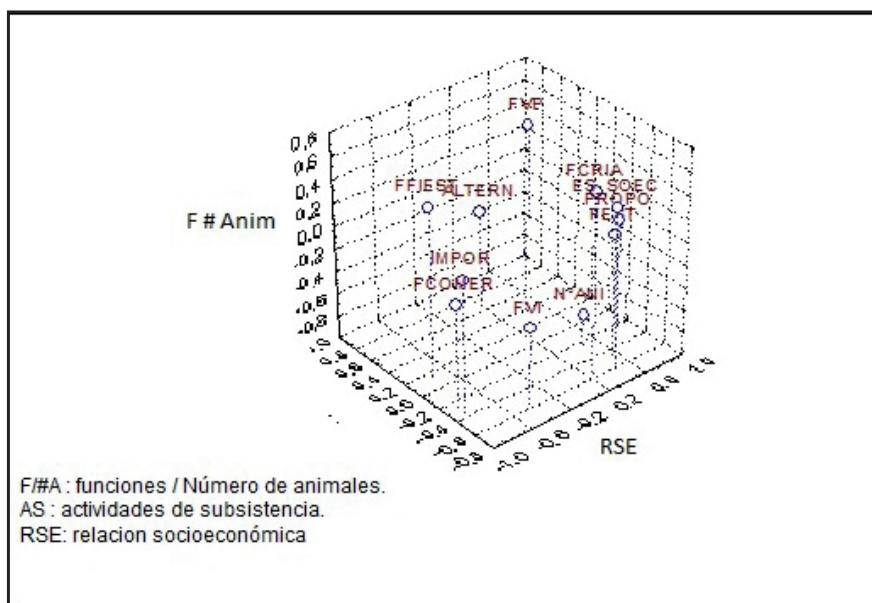


Figura 1. Eigenvectores de los tres factores para Xicani. Extracción componentes principales

En el segundo eje llamado actividades de subsistencia, las variables importantes son: alternativas (0.33), función venta imprevista (-0.262), función para cría (-0.260) y función estiércol (-0.219), donde si las alternativas de un productor aumentan las otras tres disminuyen. Este factor puede ser explicado por lo siguiente: a) **La venta imprevista**, en la cual incluyen gastos que no están previstos, pero que son de urgencia, obligan al productor a vender los ovinos. Estas emergencias pueden ser enfermedades, gastos de inicio y fin de cursos en la escuela, compra de fertilizantes para la agricultura, incluso para pagar la vivienda como es el caso del Sr. Juan Reyes Jiménez: *Voy a engordar a mis diez machos para pagar el terrenito de mi casa*; b) **Cría de ovinos**, que es la reproducción de los mismos en el hogar, con el fin de que se incremente su cantidad. Sin embargo, es controlada por

mecanismos naturales e incluso socioeconómicos, ya que la escasez de alimento los limita a no tener más ovinos de los que pueden alimentar, como lo menciona Don Florencio: *Siempre tengo 12 borregos en total, si tengo más se me mueren, no tengo que darles de comer, por eso cuando hay nacencias vendo las más viejas*; c) **Utilización del estiércol**: con el fin de fertilizar la tierra para una mejor producción. Este insumo de la tierra proveniente de los ovinos: *Es el mejor de todos los animales*, manifiestan los campesinos.

El tercer eje llamado funciones /número de ovinos, las variables importantes son: número de animales (-0.417), función venta prevista (0.361), función cría (0.319) y función para fiesta (0.266), donde observamos que mientras el número de animales disminuye, los ovinos tienen más funciones del tipo mencionado.

En la función **venta prevista** los campesinos aprecian a los ovinos como elementos del sistema que puede proporcionar ingreso extraplaneado con anterioridad, lo que indica que al ser los productores de nivel socioeconómico alto y tener menor número de animales, esta función tiene más

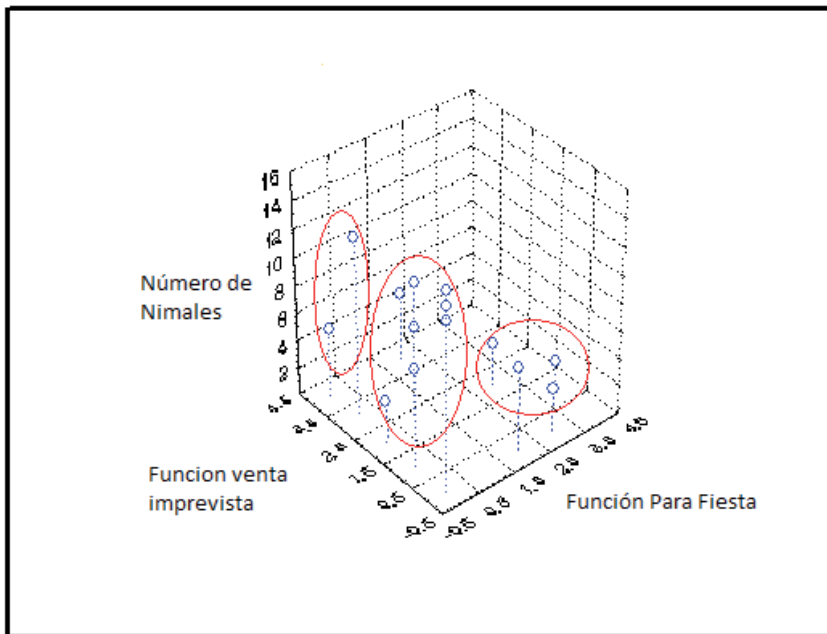


Figura 2. Eigenvectores de productores representativos en los componentes principales de Xicani

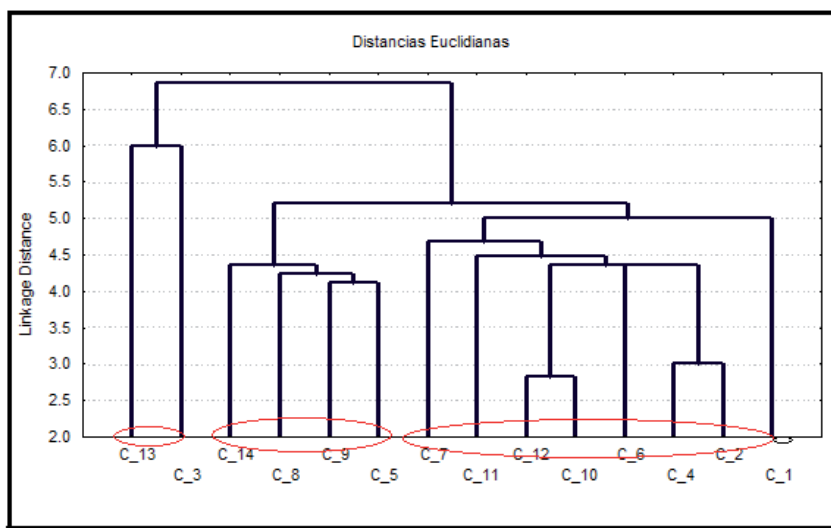
importancia. Función para **consumirlos en fiestas**, la manifiestan los campesinos de estrato socioeconómico alto, ya que son los únicos que se pueden dar ese “lujo” y es una función planeada de antemano. El comprar un cordero para comer en una fecha específica, como fiestas del pueblo, fin de cursos en la escuela, etcétera.

Resumiendo, los conglomerados están explicados por el comportamiento de las variables de los tres factores, como se muestra en la Figura 2, que también corrobora la agrupación que se realizó en el análisis de conglomerados, mostrando las variables más importantes o que tienen más peso en este trabajo.

### **Análisis de conglomerados de Xicani**

En la Figura 3 se observan las distancias euclidianas entre cada productor tomando para la figura a los más representativos de los grupos. A partir de las mismas se forman los conglomerados, con base en menores distancias entre casos (productores). De tal manera que los primeros productores que agrupa son el C4 y C2 y a éstos con el C6, y así sucesivamente con los demás productores. Los conglomerados resultantes se ilustran en la Figura 3, la cual es un diagrama de árbol que muestra de una manera esquemática, el procedimiento de cómo se agrupan los productores. Cada conglomerado obtenido comparte características de las variables de respuesta que se utilizaron en este estudio. Las cuales se describen a continuación en la Tabla 4.

Se puede observar que en el caso del grupo 1 (conglomerado), coinciden en darle menor importancia a los borregos, ya que su importancia funcional es una forma de obtener dinero que se ha planeado con anterioridad. El propósito confirma lo anterior ya que los propósitos son tomados como la función que desempeñan los ovinos de una forma más consciente. La alternativa en caso de no contar con la especie es qué comprarían, ya que el hecho de pertenecer a un estrato socioeconómico más alto les permite contar con dinero suficiente y en caso de necesitar un borrego no tienen dificultad para adquirirlo. Los productores pertenecientes a este conglomerado tienen la menor cantidad de ovinos ( 2 a 3).



**Figura 3.** Diagrama de árbol para 14 familias representativas de Xicani

**Tabla 4.** Características de los conglomerados de la comunidad de Xicani

Variable	Grupo (conglomerado) 1	Grupo (conglomerado) 2	Grupo (conglomerado) 3
Importancia	Menor	Mayor	Mayor
Funciones	Cría, venta prevista	Venta imprevista cría y estiércol	Cría, venta imprevista y prevista
Propósito	Venta	Cría y estiércol	Cría, tradición, venta imprevista
Alternativa	Comprar	Pedir a medias, dinero prestado, migración	Migración
Estrato	Alto	Medio-bajo	Medio
Numero de ovinos	2-3	3-5	6-14

El grupo 2 (conglomerado 2) se caracteriza por dar más importancia a los ovinos que a cualquier otra especie. Las funciones más importantes son la venta imprevista, cría y el estiércol. Los propósitos principales son cría y la producción de estiércol. Las alternativas que tienen en caso de no contar con la especie en su hogar son: pedir a medias, pedir dinero prestado para poder comprar, o migración a la capital del país (Ciudad de México) para

trabajar y poder comprar ovinos. Son de estrato social medio o bajo. El número de ovinos es de tres a cinco.

El grupo 3 (conglomerado 3) se caracteriza por dar más importancia a los ovinos que a cualquier otra especie. Las funciones más importantes para este grupo de productores son la cría, la venta imprevista y la venta prevista. Los propósitos que manifestaron los productores de este grupo son: cría, costumbre o tradición (cultura) y venta imprevista, por lo que, relacionándolo con las funciones, se percibe que la venta imprevista es la función consciente, constituyendo así los ovinos una forma de seguro para algún imprevisto. La alternativa principal de este grupo es el salir a trabajar para poder comprar ovinos. Son de estrato socioeconómico medio, principalmente. El número de borregos va de los 6 a los 14 por hogar.

De acuerdo con lo anterior, se puede establecer que la importancia de los ovinos sentida por parte de los productores pobres de la comunidad de Xicani es mayor para los conglomerados 2 y 3, que pertenecen al mismo estrato socioeconómico (medio y bajo). La diferencia principal es el número de animales, que es más alto para el conglomerado 3; esto explica las funciones que exteriorizan los campesinos de este conglomerado: a) **para imprevista**. Esta función está bien identificada en ambos conglomerados 2 y 3.; b) **para cría**. Esta función es de las principales en este conglomerado (grupo 3) ; c) **para estiércol**. Esta función, aunque es expresada por ambos conglomerados 2 y 3, es más importante para los campesinos del conglomerado 2 y d) **venta prevista**, por los campesinos del conglomerado 3, esto puede deberse a que el número de ovinos es mayor y por lo tanto hay más posibilidades de tener excedentes. Por lo que observamos que son los únicos que ven a los ovinos como una empresa.

### **Análisis de componentes**

#### **San Marcos de la Loma**

La Tabla 5 muestra los valores eigen que explican la variación de los datos. Son cuatro componentes principales los que agrupan el 80.14% de la variabilidad total. De esta última, el primer componente principal agrupa el



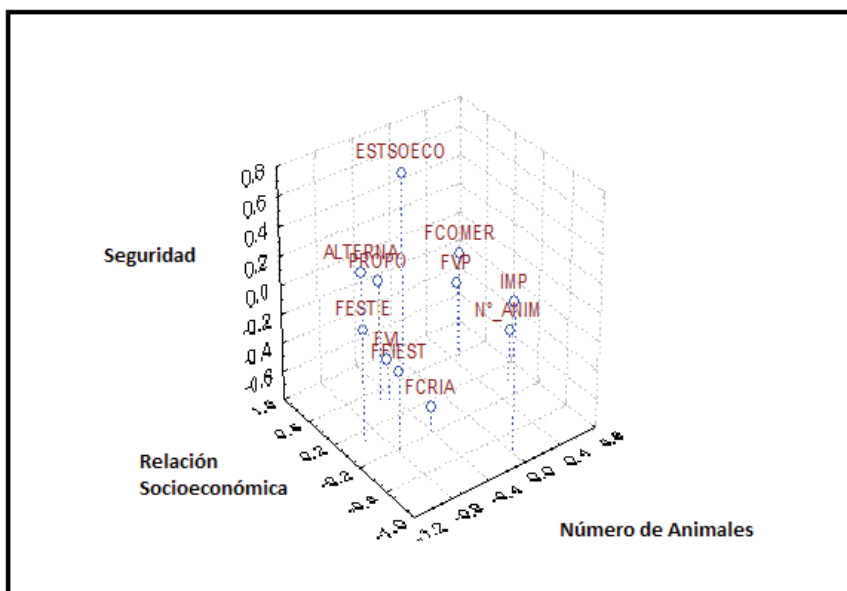
32.83%, el segundo engloba el 22.53% y los primeros dos componentes principales juntos cuentan el 55.37%, como se observa en la tercera columna.

**Tabla 5.** Eigenvalores (San Marcos de la Loma) Extracción: componentes principales

Valor	Eigenvalores	% de Varianza total	Eigenvalores acumulados	% acumulado
1	3.612216	32.83833	3.612216	32.83833
2	2.479366	22.53969	6.091582	55.37802
3	1.502484	13.65895	7.594066	69.03697
4	1.221926	11.10842	8.815993	80.14539

Las variables que tienden a tener relaciones fuertes con el primer componente principal, al que se le denominó funciones/número de animales, y son: **para estiércol** (-0.26), **alternativas** (-0.22), **comer en fiestas** (-0.214) y **número de animales** (0.168), resaltando la relación inversa entre las variables, ya que mientras el número de animales se incrementa, las funciones estiércol y comer en fiestas e incluso las alternativas disminuyen en valor. Esto está explicado por lo siguiente: a) **Uso de estiércol**: su uso es más frecuente si el número de animales es menor; b) **Alternativas**: son las actividades que realizan los campesinos en caso de no contar con ovinos, por ejemplo, pedir ovinos a medias, pedir dinero prestado para poder comprar ovinos, migrar a la ciudad de Toluca a emplearse como ayudantes de albañil para poder comprar ovinos, etc. Así, para este factor, si el número de animales es alto, tienen menos alternativas para criar ovinos, y c) **comer en fiestas**: porque generalmente quien cría un ovino para realizar esta función, no percibe a la ovinocultura como una empresa. Es por esto que si el número de ovinos aumenta, esta función no es manifestada.

El número de ovinos en este vector implica que los ovinos tengan mayor o menor número de funciones, tal es el caso de doña Paula: *Son muy importantes estos animalitos porque el estiércol de borrego da mejor verdura, además, ahora que mi hija sale de la escuela, vamos a matar dos para la fiestecita*; tiene solo ocho animales.



**Figura 4.** Eigenvectores para los tres factores en San Marcos de la Loma. Componentes Principales. Para Seguridad, Relación Socio-Económica y Número de Animales.

Las variables que tienden a tener relaciones fuertes con el segundo vector llamado relación socioeconómica son: **Importancia** (-0.318), **Venta Prevista** (0.267), y **Estrato Socioeconómico** (0.288), que indican que mientras el estrato socioeconómico y la venta prevista tienen más peso, la importancia que los productores le dan a los ovinos disminuye su valor o tienen menos peso. Debido a: a) **venta prevista**: se refiere a que la posesión de los ovinos está en función de la remuneración que proporcionan. Es decir, son empleados en la unidad para obtener un ingreso extra. Sin embargo, la relación con el estrato socioeconómico hace que la importancia disminuya. Esto nos indica que la relación socioeconómica de la propiedad de los ovinos está en función de la importancia. Esto quiere decir que cuando le dan mayor importancia a los ovinos, los productores están en un estrato socioeconómico cada vez menor. Esto es corroborado por el testimonio de don Ambrosio: *Los borregos son más importantes para los más pobres, porque los que tienen más dinero ni tienen borregos.*

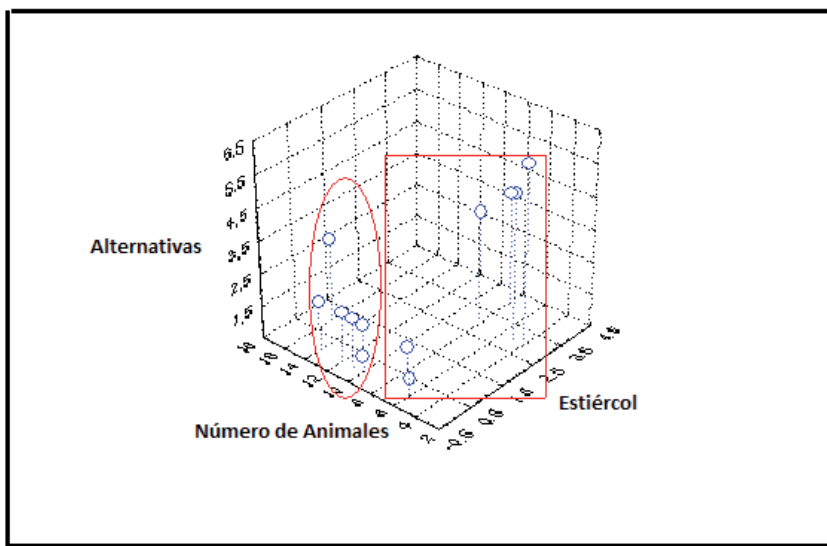
Para el tercer vector llamado seguridad, las variables que tienen relaciones fuertes son la **venta imprevista** (-0.348), **estrato socioeconómico** (0.385) y **cría** (-0.426). Lo cual indica que: a) La función para cría que se refiere a la reproducción del rebaño está asociada con la venta imprevista, ya que mientras más se reproduzcan los ovinos la seguridad de los campesinos se incrementa. Siendo entonces más importante para los del estrato socioeconómico bajo, y b) La venta imprevista, que consiste en vender los ovinos en eventos en donde sea necesario gastar cantidades considerables (enfermedad, muerte, alimentación, salidas de la escuela, etc.), será más importante en los estratos socioeconómicos más bajos.

El testimonio sobre la seguridad está manifestada por la función venta imprevista y la cría, como el caso de la señora Rosa: *Los borregos los utilizamos solo cuando tenemos una emergencia muy fuerte, y si los animales se reproducen más nos sentimos más seguros, pues nuestro ahorro es más grande.*

En el cuarto vector, llamado subsistencia, las variables que tienen más relación son **importancia** (0.366), **venta prevista** (-0.421), **cría** (0.563) y **No. de propósitos** (0.405), en donde los propósitos son la forma consciente del porqué un productor tiene ovinos y entre los más importantes están la cría. Esto nos indica que en los productores que le dan mayor importancia a los ovinos, las funciones de estos animales están encaminadas a la subsistencia.

Siguiendo la descripción del comportamiento de las variables, si los valores vector de los productores son graficados, se obtiene una comprobación de los grupos obtenidos en el análisis de conglomerados y las variables que tuvieron más peso en este análisis, lo cual se muestra en la Figura 5.

Los factores juegan un papel importante en la clasificación o agrupamiento de productores, para que puedan resultar seis productores en cada grupo. Sin embargo, está bien determinado que la función más importante, o que al menos tiene más peso en la clasificación de los productores de estas comunidades, es el número de animales.



**Figura 5.** Eigenvectores para algunos productores representativos en San Marcos de la Loma para las funciones de Estiércol, Número de Animales y Alternativas

### **Análisis de conglomerados, San Marcos de la Loma**

La Figura 6 muestra las distancias euclidianas entre los productores de ovinos de San Marcos de la Loma y con estos valores se forman los conglomerados. Se observa que son dos grupos de productores para los cuales las distancias euclidianas máximas dentro de los conglomerados es de 5.99 (conglomerados 1 y 2).

Los productores (casos) que pertenecen a cada conglomerado, de igual manera son 6 para cada grupo: el conglomerado 1: C2, C3, C5, C9, C6, C7 y el conglomerado 2: C1, C4, C8, C10, C11, C12. Las características importantes para cada grupo de San Marcos de la Loma se muestran en la Tabla 6.

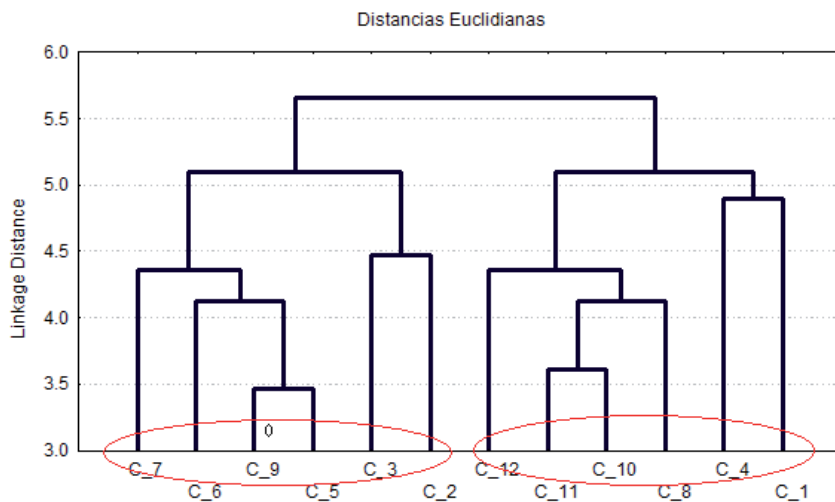


Figura 6. Diagrama de árbol para casos representativos en San Marcos de la Loma

**Tabla 6.** Características de los conglomerados de San Marcos de la Loma

Variable	Grupo (conglomerado) 1	Grupo (conglomerado) 2
Importancia	Mayor	Mayor
Funciones	Comer, venta imprevista, estiércol y cría	Cría, venta imprevista, comer y venta prevista.
Propósitos	Comer, venta imprevista, estiércol y cría	Venta imprevista, aprovechamiento de rastrojo y tradición.
Alternativas	Comprar ovinos, comprar cerdos, sin alternativa	Pedir dinero prestado, ahorrar o pedir a medias.
Estrato	Bajo-medio	Bajo-alto
N°animales	10-16	4-8

Los productores del conglomerado 1 dan a los ovinos más importancia que a otros animales. Los ovinos se utilizan para comer y para venta prevista y con menos importancia para la producción estiércol y la cría. Los propósitos son los mismos que las funciones y muestran que están muy enfocados a la producción y rendimientos de los ovinos. Las alternativas,

en caso de no contar con los animales, son comprar y en caso de no contar con dinero no tendrían alternativas, o bien comprar cerdos. La moda de este conglomerado pertenece al estrato más bajo. El número de animales en este conglomerado varía de 10 a 16 animales por familia. Las característica principal del conglomerado 2 es que la importancia de los ovinos es mayor que cualquier especie. Para este conglomerado las funciones principales son la cría y la venta imprevista, y con menos importancia para comer y venta prevista. El principal propósito es la venta imprevista y con menos importancia el aprovechamiento de rastrojo y por tradición. Las alternativas son: conseguir dinero principalmente, aunque también tiene como alternativa el ahorrar o pedir a medias, o definitivamente nada. Este conglomerado es muy variado en cuanto al estrato socioeconómico, sin embargo, predomina el estrato bajo. El número de ovinos es más bajo que el conglomerado anterior ya que cuentan solo con cuatro a ocho animales por familia.

Respecto a esto, la información sugiere que la producción de ovinos del conglomerado 1 tiene un fin comercial, pues la producción de los ovinos está planeada anticipadamente, ya sea como venta prevista o para consumirlos en fiestas, asegurando para una fecha específica un ingreso económico extra o materia prima. En contraste se denota el conglomerado 2, para el que la producción está enfocada a reproducción para obtener un seguro, es decir, el excedente de ovinos se puede vender para algún imprevisto.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con la evidencia presentada, se puede concluir que en la actualidad, en comunidades pobres como las estudiadas, sigue presente el binomio pobreza-ovinos, debido a que los ovinos siguen representando un seguro en gastos imprevistos, implicando ser más importantes para los campesinos de estratos socioeconómicos bajos.

La información sugiere que la importancia de los ovinos está plenamente identificada en todos los estratos socioeconómicos, ya sea como una

fuentes de comida para ocasiones (festivas principalmente), o como una inversión prevista para obtener ingresos económicos.

En el caso de Xicani, se encontraron tres tipos de productores, para los cuales los ovinos son muy importantes en los estratos socioeconómicos bajo y medio, mas no así para los del alto. Estos grupos resultantes se corroboran por el análisis de componentes principales, el que mostró que la mayor parte de la variabilidad está explicada por cuatro factores llamados: 1) funciones/número de animales, 2) relación socioeconómica, 3) seguridad y 4) subsistencia.

En el caso de San Marcos, aun cuando no hubo diferenciación en cuanto a estrato socioeconómico se refiere, se distinguieron dos tipos de productores bien definidos, para los cuales los ovinos fueron una especie muy importante. Aquí se diferenciaron en el propósito de producción y el número de animales entre grupos, como lo explica el análisis de componentes principales, en el cual los factores principales fueron: 1) relación socioeconómica, 2) actividades de subsistencia y 3) función /número de animales.

De acuerdo con lo anterior y a la caracterización del sistema de producción que se realizará en la siguiente fase, la información sugiere que en un lugar como Xicani se encontrarán tres grupos de productores y en San Marcos de la Loma dos grupos. De esta forma, aun cuando todos los grupos de productores son importantes para este trabajo, las tecnologías de mejoramiento deberán estar clasificadas en los mismos grupos obtenidos en las dos fases, para que las innovaciones tecnológicas sean específicas, y puedan ser adoptadas y adaptadas por los productores.

De acuerdo con los resultados, se puede afirmar que las técnicas multivariadas son una herramienta de análisis poderosa en la validación de información obtenidos por técnicas participativas. La conjunción de ambos enfoques incrementan el grado de confianza y validez de la información. Estos resultados, desde el punto de vista metodológico, fueron útiles además para obtener nuevas hipótesis y preguntas de investigación para la siguiente fase del proyecto de investigación al que pertenece.

Desde el punto de vista de la investigación agropecuaria rural, los resultados de este estudio tienen una gran implicación, dado que los resultados sugieren la compatibilidad de métodos tanto formales como informales para la recolección y el análisis de información en sistemas complejos.

La implicación, desde el punto de vista del desarrollo rural y de toma de decisiones, es que se muestra que las técnicas utilizadas pueden ser de gran ayuda para guiar las estrategias en programas como los de transferencia de tecnología, al identificar características y agrupar productores de manera más específica y que puedan ser identificados como grupos objetivo.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Natural Resources International Ltd. (Livestock Production Programme), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y la Universidad Autónoma del Estado de México por el apoyo financiero para la realización de este trabajo. Se reconoce además la participación activa de los pobladores y autoridades de las comunidades de Xicani y San Marcos de la Loma para compartir información y experiencias en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson S., Moguel J., Keane B., Clark S., Trejo W. (2000). Strategies for the integration of livestock into small scale low external input crops systems – final report. Way College, University of London.
- Anderson S. (1998). Sustainable rural livelihoods and animal genetic resources. Invited Keynote paper at the ibero-american congress on criollo and indigenous breeds, Tamaulipas, Mexico, November.
- Arriaga J.C., Velázquez BL., Nava B.G., Chávez M.C. (1999). “El papel de los animales en los sistemas campesinos de agricultura de ladera en el Estado de México”. En: Seminario Internacional sobre agro-diversidad campesina. Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Geografía. UAEM. Toluca México.



- Cano C.J. (2008). "Factores que obstaculizan la producción pecuaria en México". En: Memorias del II Congreso Regional de Buiatría. 28-29 Noviembre. Morelia, Michoacán.
- Chambers R. (1992). Rural Appraisal: rapid, relaxed and participatory. Institute of Development Studies.
- Dallas EJ. (1998). Applied multivariate methods for data analysis. USA Duxbury Press.
- FMDR (2000). Informe anual de actividades (nuestra visión del campo), Fundación Mexicana para el desarrollo Rural. México DF.
- Geilfus F. (2000). 80 herramientas para el desarrollo participativo. SAGAR. México D.F.
- Gobierno del Estado de México- Instituto de Información e Investigación Geográfica Estadística y Catastral del Estado de México. (1995). Nomenclator de las Localidades del Estado de México. Gobierno del Estado de México en colaboración con el Instituto de Información e Investigación Geográfica Estadística y Catastral del Estado de México. Toluca, México.
- Hair F.J., Anderson R.E., Tatham R.L., Black W.C. (1998). *Multivariate data analysis*. Fifth edition. International Edition.
- INEGI (2000). XII Censo General de Población y Vivienda 2000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. Aguascalientes México.
- Kirsopp K.R. (1994). A review of PRA methods for livestock research and development. RRA Notes;(20): 11-36.
- Martin A., Sherington J. (1997). Participatory Research Methods – Implementation, Effectiveness and Institutional Context. *Agricultural Systems*, 55(2): 195-216.
- Sagarpa (Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación)(2004). Programa Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios. <http://www.sagarpa.gob.mx/dgg/ftp/conargen>.
- Sagarpa (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2007). Dirección General de Fomento a la Agricultura. Estado de México.
- Solano C., León H., Pérez E., Herrero M. (2001). "Characterising objective profiles of Costa Rican dairy farmers". *Agricultural systems*, (67): 153-179.
- Sanchez V.E. (2001). The Impact of Technological Innovations on Small Scale Dairy Farming Agroecosystems in the Highlands of Mexico[thesis Doctor]. London UK. Imperial College at Wye, University of London.



**AVANCES EN INVESTIGACIÓN  
SOBRE TEMAS EMERGENTES  
EN PRODUCCIÓN ANIMAL**



# MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DE NEMATODOS GASTROINTESTINALES EN PEQUEÑOS RUMIANTES: ESTADO DEL ARTE

J.F.J. Torres-Acosta, C. Sandoval-Castro,  
R. Cámara-Sarmiento, A.J. Aguilar-Caballero

**Resumen** Un número cada vez mayor de rebaños ovinos y caprinos del mundo tienen cepas de nematodos gastrointestinales (NGI) resistentes a los antihelmínticos (AH) comerciales. Los productores requieren alternativas para el control de los NGI que reduzcan su dependencia de los AH. Este documento describe los avances en el desarrollo de alternativas de control de NGI en pequeños rumiantes. Los métodos se agrupan en aquellos que funcionan afectando las fases de vida libre fuera de los animales y los que afectan las fases parásitas en el interior de los mismos. En condiciones de trópico cálido, la destrucción de fases larvarias en heces y forraje puede hacerse mediante la rotación de potreros en época lluvias y el uso de clamidosporas del hongo nematófago *Duddingtonia flagrans* en la dieta de los animales. En la sequía estas fases generalmente mueren por desecación. Si las fases larvarias son consumidas por los animales se pueden usar tres tipos de herramientas: las que mejoran la capacidad de tolerar los parásitos (resiliencia), las que mejoran la respuesta inmune contra los parásitos (resistencia) y las que destruyen directamente las fases parásitas (desparasitantes no convencionales). En general, las razas nativas del trópico, como el ovino Pelibuey o la cabra Criolla, parecen tener mayor resistencia (inmunidad) contra los NGI resultado de la selección natural. Hay evidencia de variabilidad genética que se puede explotar mediante selección y esta

mejoría sería de largo plazo. La suplementación alimenticia es la herramienta más práctica para que los animales mejoren su resiliencia, e incluso resistencia, contra los NGI en el corto plazo. Sin embargo, la suplementación puede además tener efectos desparasitantes directos. Por ejemplo, las agujas de cobre en una dosis oral única (cápsula de 2 g) permiten una reducción importante de *Haemonchus contortus* durante al menos 35 días. Además, existen plantas que contienen compuestos secundarios de defensa contra la herbivoría, como los taninos, las lectinas o las saponinas, que pueden tener efecto desparasitante sobre las fases de larva y adulto. Ya se cuenta con una vacuna contra *H. contortus* con una eficacia del 99% y está en fase de evaluación de campo. Por si todo esto no fuera suficientemente promisorio, también se propone una nueva forma de usar los desparasitantes convencionales que permite dejar parásitos en refugio (sin contacto con el desparasitante): la desparasitación selectiva dirigida solo de aquellos animales que lo necesitan. La cantidad de información científica y práctica para el uso racional de estas estrategias en cada rebaño requiere de un alto grado de especialización. El nuevo especialista deberá conocer de productividad y comportamiento de praderas y animales y deberá traducir esto para aplicar la mejor mezcla de herramientas para el control sustentable de NGI en cada rebaño.

**Palabras clave:** rumiantes, parasitosis, control alternativo

**Abstract** An increasing number of sheep and goat herds are developing strains of gastro intestinal nematodes (GIN) which are resistant to conventional commercial anthelmintics (AH). Farmers require alternatives to control GIN while reducing its dependency to AH. This review describes developments for the control of GIN in small ruminants. Methods are grouped in those acting against free living stages and those affecting the parasitic stages. In warm tropical conditions, the destruction of larvae in faeces and herbage can be accomplished through rotational grazing during the rainy season and administration of *Duddingtonia flagrans* chlamydospores (nematofagus fungi) in the diet. During the dry season, larvae generally die by desiccation. If larvae are consumed by the animals, three strategies can be used: increase the animal capacity to tolerate parasites (resilience), increase immu-

ne response (resistance), directly destroy the parasite (non conventional AH). In general, tropical native breed as Pelibuey sheep or Creole goats, seem to have higher resistance (immunity) against GIN. There is evidence of genetic variability which can be exploited through selection; nevertheless, improvements would be in the long term range. Supplementary feeding appears as the most practical tool to improve animal resilience against GIN in the short term range. Dietary supplementation can also be used for its direct AH effect. Thus copper oxide (2g capsule orally) results in an important reduction of *Haemonchus contortus* burden up to 35d. In addition, plants containing secondary compounds to protect themselves against herbivory (tannins, lectins or saponins) can also have AH effect against GIN larvae and adults. A vaccine against *H. contortus* has also been developed with an efficacy of 99% and is currently under field evaluation. Finally, an alternative use of conventional commercial AH has been developed: targeted selective treatment, a strategy which allows some GIN to be maintained in refugia (without contact with the AH). The amount of scientific and practical information for the rational use of these strategies at each flock requires a new specialist who must have knowledge about productivity and management of both grasslands and animals. The information should be used to select the best combinations of methods for sustainable management of GIN.

**Key words:** ruminants, parasites, alternative control methods

## INTRODUCCIÓN

La preocupación acerca de la situación de la resistencia antihelmíntica (RA) contra los desparasitantes comerciales en los nematodos gastrointestinales (NGI) ha cambiado dramáticamente en el sector pecuario. El problema inicialmente fue visto como un tema puramente académico. Además, la causa de este problema se atribuía a las cabras. Los desparasitantes eran considerados como la única herramienta válida de control de NGI. Su gran eficacia dejaba claro que no había necesidad de otra herramienta. Incluso se cerraron varios laboratorios de parasitología veterinaria en países del primer mundo. Eran tiempos de profecías y de gente que trataba de llamar la atención de la inminente aparición del problema de RA. Repentinamente a principios y mediados de los 90 la situación de RA dejó de ser académica y se volvió una realidad en numerosas explotaciones de pequeños rumiantes

en el ámbito mundial (Van Wyk *et al.*, 1997). La situación de aparición de NGI resistentes a los antihelmínticos (AH) en bovinos se veía como poco probable. Las empresas farmacéuticas comenzaron a invertir en el desarrollo de algunos métodos alternativos con potencial comercial (por ejemplo los hongos nematófagos y el desarrollo de vacunas como la de *Haemonchus contortus*). Se comienzan a estudiar algunos principios como la resiliencia (capacidad de soportar los efectos negativos de los parásitos y seguir manteniendo la producción ó crecimiento) y la resistencia (capacidad de establecer una respuesta inmune contra la infección que permite regular la misma) (Coop y Kyriazakis, 2001). En ese momento existía ya una preocupación en el ámbito internacional por el avance de las cepas resistentes y la no disponibilidad de algún método de control alternativo viable para sustituir los desparasitantes convencionales en algún plazo. En el inicio del siglo XXI se reporta que la RA es un problema de distribución internacional (Kaplan, 2004; Jackson y Coop, 2000; Van Wyk *et al.*, 2006) en el cual la prevalencia de ranchos bovinos con cepas resistentes a los AH es elevada, muy por encima de los pronósticos científicos. Aunque aparece una nueva familia de AH comercial, el Monepantel (Kaminsky *et al.*, 2008), después de tres décadas de no disponer de ninguna nueva molécula, el temor por la velocidad de generación de cepas resistentes a este último es una realidad que se manifiesta aún en la propaganda del mismo producto. El problema de resistencia antihelmíntica alcanza ya a superar el nivel de interés académico. Los productores en el ámbito mundial demandan ya medidas que puedan usar para el control de los NGI que sean económicas, prácticas y sustentables. Los métodos alternativos de control (MAC) de NGI también han pasado de ser un campo meramente académico, periférico en la parasitología veterinaria, a una disciplina que adquiere relevancia, vigencia y sobretodo pertinencia. El estudio de MAC pasa entonces de ser la actividad de un pequeño grupo de investigadores que buscaban la diversificación de estrategias de control a un grupo de trabajo que adquiere cada vez más atención de la comunidad internacional.



## PARA QUÉ SIRVEN LOS MÉTODOS ALTERNATIVOS DE CONTROL (MAC) DE NGI

La esencia de los MAC es reducir la dependencia con respecto de los AH comerciales. Esto significa menos tratamientos por animal por año, lo que permite preservar parásitos susceptibles en la misma granja (en refugio), ya sea dentro de animales no desparasitados como en la vegetación circundante (Van Wyk, 2001). Esta reducción en la frecuencia de desparasitación redundaría lógicamente en un menor costo de compra de desparasitantes. Sin embargo, mal manejados puede aumentar el impacto de los parásitos e incrementar las pérdidas debidas a los mismos.

Los MAC pueden ser usados por los productores con problemas existentes de RA y que necesitan urgentemente alternativas de control parasitario en sus granjas (antes de que sus granjas colapsen y cierren). En algunos casos estos productores han optado por estabular animales con mayor riesgo de infección, como los corderos o cabritos en crecimiento. En este grupo también se encuentran todos los productores que no pueden usar desparasitantes libremente, sea por que deben evitar la presencia de residuos en leche (Gutiérrez-Gil *et al.*, 2010) o porque tienen sistemas de producción orgánicos donde se debe controlar el uso de este tipo de productos, siempre que no se afecte el bienestar animal (Cabaret *et al.*, 2002).

Finalmente, los MAC también pueden ser para aquellos productores sin acceso a productos comerciales, tanto en aquellos casos en los que no los tienen disponibles en su zona (por restricciones comerciales) o porque no tienen suficiente dinero para pagar por ellos (grupos vulnerables de escasos recursos). Este último grupo es el que generalmente es menos considerado por los investigadores y en general se amoldan a tener sistemas de producción con deficiente control de NGI, baja productividad y elevadas mortalidades (Hoste *et al.*, 2005).

## DESPARASITACIÓN SELECTIVA DIRIGIDA

Tradicionalmente, todos los animales de un rebaño son desparasitados. Esta estrategia implica que todos los parásitos se exponen a las drogas

antihelmínticas de manera simultánea y se favorece la aparición de cepas resistentes en una finca. Sin embargo, las altas cargas parasitarias (aquellas que reducen la productividad e incluso llegan a manifestaciones clínicas) se encuentran en una minoría de los animales del rebaño, en tanto que la mayoría de los animales tienen cargas parasitarias bajas que no ocasionan efectos negativos sobre la producción y salud de los individuos (Gaba *et al.*, 2010). Con base en esta premisa se ha sugerido desparasitar únicamente a aquellos animales con altas cargas de NGI. Es decir, únicamente a aquellos animales en los que la infección compromete la producción o la salud. Esta forma de desparasitar se conoce como desparasitación selectiva dirigida (DSD) (Greer *et al.*, 2009). Esta nueva forma de utilizar el desparasitante en la población de hospedadores permite la preservación de NGI susceptibles en refugio. Esta propuesta fue inicialmente planteada muchos años atrás (Michel, 1985) y fue reconsiderada y promovida en años recientes cuando se retoma la importancia de conservar parásitos en refugio (Van Wyk, 2001). La DSD consiste en desparasitar únicamente a los animales que lo necesitan. De esta manera muchos animales del rebaño no son desparasitados. Recientemente se probó que la DSD de un 20% o 30% del rebaño mantenía la susceptibilidad a los AH en las cepas de NGI a largo plazo (5 años) (Gaba *et al.*, 2010). Además de prolongar la vida media de las drogas AH disponibles al reducir la presión de selección para resistencia a los AH, la DSD tiene un beneficio económico ya que reduce el costo por concepto de desparasitación en el rebaño a lo largo del año (Kenyon *et al.*, 2009). Para realizar la DSD el productor deberá obtener uno o varios indicadores que le ayuden a identificar qué animales tienen elevadas cargas de parásitos. Así podrá decidir qué animales deben ser desparasitados y cuáles no (Van Wyk *et al.*, 2006). En la producción de ovinos y caprinos se han desarrollado sistemas basados en la utilización de marcadores para la toma de decisión (Bath y Van Wyk, 2009). Ejemplos de éstas son las cuentas de huevos fecales (técnica de McMaster), la coloración de la mucosa palpebral (método FAMACHA®) (Van Wyk y Bath, 2002), la producción de leche (las cabras más productoras son desparasitadas y las primíparas) (Hoste *et*

*al.*, 2002), la condición corporal y más recientemente la ganancia de peso (Stafford *et al.*, 2009). Este último sistema ha sido evaluado con éxito en zonas donde *H. contortus* es poco importante, tanto en Europa como en Australia (Kenyon *et al.*, 2009). Un esfuerzo considerable se ha destinado también a desarrollar marcadores para la producción bovina, en especial aquellos relacionados con la producción de leche por la facilidad que representaría obtener la muestra para calcular el indicador. La principal limitante para la DSD es que los productores deben aceptar que algunos animales se mantendrán infectados, lo que por varias décadas ha sido considerado como inaceptable por sus posibles repercusiones sobre el bienestar animal y el impacto económico del uso de la DSD. Estudios recientes en México sugieren que el bienestar animal y la productividad no son afectados por la DSD en un rebaño en condiciones tropicales húmedas (Torres-Acosta *et al.*, 2009). Resultados similares han sido reportados en condiciones templadas por Stafford *et al.* (2009). Aunque las estrategias de DSD parecen prometedoras, es recomendable mantener un sistema de vigilancia ante las posibles consecuencias que puedan tener las cargas de NGI sobre el bienestar animal y la producción.

#### MÉTODOS ALTERNATIVOS DE CONTROL EN EL EXTERIOR DEL ANIMAL

La posibilidad de utilizar los MAC basados en la reducción del riesgo de infección y la dilución de la infectividad de NGI en las áreas de pastoreo es limitada cuando las larvas infectantes pueden sobrevivir por periodos largos, esto es, en zonas de clima templado donde las larvas pueden sobrevivir por casi un año. Sin embargo, en zonas cálidas y húmedas las larvas parecen morir relativamente rápido (algunas semanas) (O'Connor *et al.*, 2006; Getachew *et al.*, 2007). Estos lugares se muestran ideales para la aplicación de esquemas de pastoreo rotacional, aunque todavía no hay gente utilizando estos sistemas debido a que han sido poco estudiados y son además muy laboriosos. Es importante recalcar que el principal criterio de utilización

de una pradera debe ser la máxima cantidad y calidad de forraje producido por corte, estación o año. Sin embargo, el manejo del pastoreo puede ser usado para controlar la infección por NGI al tratar de reducir la cantidad de larvas que están disponibles para ser consumidas por los animales. Esta estrategia ha sido utilizada por siglos en el ámbito mundial por los productores transhumantes que mueven sus rebaños en busca de mejores pastos para sus animales y de esta manera, en forma involuntaria, se movían a praderas con menor o nula infección. Las técnicas de pastoreo se agrupan en técnicas preventivas, de evasión y de dilución (Jackson y Miller, 2006).

El pastoreo rotacional es una técnica de evasión en la que los animales se mueven antes de que se enfrenten a altas cargas de larvas L3 en la pastura (Colvin *et al.*, 2008). En condiciones tropicales, donde el huevo de un nematodo se desarrolla hasta larva infectante rápidamente (4 a 7 días), el tiempo en que sobrevive la larva L3 es corto (cerca de cuatro semanas) (O'Connor *et al.*, 2006). Estudios realizados en clima cálido húmedo por Barger *et al.* (1994) mostraron que un sistema de pastoreo rotacional con pastoreo de tres a cuatro días y descanso de la pradera por 31-32 días reducía considerablemente el riesgo de infección. Este estudio ha dado lugar a varios trabajos en condiciones tropicales y subtropicales cálidas en los que se han encontrado resultados de control de infección interesantes (Burke *et al.*, 2009). Un estudio realizado en Yucatán, en época de lluvia, demostró una reducción casi total del riesgo de infección en corderos de pelo en crecimiento bajo un esquema de tres días de pastoreo por 30 de descanso con una carga animal de 40 ovinos por hectárea (Flota-Bañuelos *et al.*, en preparación). En dicho trabajo los animales iniciaron infectados naturalmente con cargas promedio de 3000 huevos por gramo de heces (HPG). Durante el estudio tuvieron ganancias de peso cercanas a 150 g/día y todos redujeron sus cargas de HPG a niveles cercanos a cero. Ningún animal requirió ser desparasitado en 90 días de pastoreo. Las principales desventajas de este tipo de manejo de praderas son: a) demasiado laborioso, b) requiere personal, y c) requiere infraestructura para dividir potreros.

En regiones de clima templado el desarrollo y la sobrevivencia de las larvas L3 puede ser considerablemente mayor (Van Dijk *et al.*, 2010). En estas condiciones es mejor utilizar el pastoreo alternado en el que se introducen en la pradera primero animales de mayor resistencia que sean capaces de consumir mayor cantidad de larvas infectantes sin tener signos de enfermedad y eliminan bajas cantidades de huevos de nematodos en sus heces (generalmente se usan bovinos u ovejas adultas). Posteriormente, cuando la infección de la pradera es menor, se introducen animales más susceptibles (Torres-Acosta y Hoste, 2008). Estos sistemas de pastoreo son difíciles de aplicar en los sistemas de producción que carezcan de división de potreros y peor aún, en sistemas donde hay pastoreo comunal. En muchos sistemas no hay suficiente tierra para hacer la rotación y mantener baja la infección (Jackson y Miller, 2006).

La dilución de infección se basa en dos principios básicos: a) reducir la carga parasitaria como consecuencia de una baja carga animal y b) utilizar enemigos naturales de los parásitos para reducir la infección (por ejemplo, hongos nematófagos) (Waller, 2006). El principio en el que se basa la primera propuesta es sencillo: con una menor carga animal se logra una menor contaminación de las praderas con heces de los animales y como consecuencia se logra una pradera con menor cantidad de larvas infectantes (Thamsborg *et al.*, 1996, 1998). Lógicamente este proceso requiere de una planeación territorial que muchas veces se asocia con una baja cantidad de kg producidos por hectárea (menor beneficio económico por hectárea y eso es generalmente poco deseable para los productores.

El uso de los hongos nematófagos predadores ha mostrado un gran potencial para el control de los NGI del ganado (Kelly *et al.*, 2009). Se han identificado varias especies de hongos nematófagos en países como Australia (Larsen *et al.*, 1994), Brasil (Saumell *et al.*, 1999), Fiji (Manueli *et al.*, 1999), Malasia (Chandrawathani *et al.*, 2002), Nueva Zelanda (McEwen, 2000), Sudáfrica (Durand *et al.*, 2005), México (Ojeda-Robertos *et al.*, 2008), Irlanda (Kelly *et al.*, 2009) entre otros. Los primeros trabajos se desarrollaron con *Duddingtonia flagrans*

(Larsen *et al.*, 1998). Otros hongos como *Arrobotrys conoides*, *A. musiformis*, *Monacrosporium thaumasium*, *Pochonia chlamidosporia*, *Drechmeria conispora* han sido también estudiados. Los trabajos de laboratorio y de campo mostraron que *D. flagrans* atraviesa el tracto gastrointestinal de los rumiantes (Campos *et al.*, 2009) y es eficaz para el control de larvas infectantes de las larvas de NGI en las heces. Sin embargo, aún se investiga un esquema efectivo para dosificación (Mendoza-De-Gives *et al.*, 2006). El uso de *D. flagrans* se basa en adicionar clamidosporas, estructuras de resistencia, en la dieta de los animales (o mediante algún dispositivo que permita su dosificación diaria). Los animales transportan las clamidosporas por el tracto digestivo de los animales y un pequeño porcentaje sale en las heces. Ya en las heces, las clamidosporas germinan y forman micelio. Cuando el micelio detecta la presencia de fases larvianas de nematodos forman estructuras atrapadoras, que en este caso son redes tridimensionales, para atrapar larvas de nematodos. Estos hongos ocasionan un efecto semejante al de reducir la carga animal ya que eliminan larvas que de otra manera contribuirían a hacer infectante la pradera. En la actualidad este método está siendo probado para determinar su viabilidad a nivel de campo en diferentes países, pero con menos ímpetu que durante la primera década del siglo XXI (Epe *et al.*, 2009). Otros tipos de hongos predadores están siendo estudiados. Por ejemplo, *A. musiformis* puede atravesar el tracto gastrointestinal de los rumiantes, lo cual no ocurrió con *A. conoides* (Graminha *et al.*, 2005). Por su lado, *D. conispora* actualmente se presenta como un candidato a ser probado en el campo (Kelly *et al.*, 2009). Recientemente los estudios con *P. chlamidosporia* muestran que este hongo es capaz de destruir huevos de parásitos gastrointestinales como *Toxocara vitulorum* (Braga *et al.*, 2010) y *Trichuris* (Silva *et al.*, 2010) pero no de *H. contortus*.

## MÉTODOS ALTERNATIVOS DE CONTROL DENTRO DEL ANIMAL

Algunos MAC trabajan dentro del animal. La suplementación alimenticia es un MAC que permite mejorar la capacidad de los animales de soportar

los efectos negativos de los parásitos (resiliencia) o incluso defenderse contra los parásitos mediante su propio sistema inmune (resistencia) (Hoste *et al.*, 2008a). Los experimentos de suplementación han demostrado consistentemente evidencia positiva sobre los hospedadores ya que mejora la resiliencia y/o la resistencia contra los nematodos gastrointestinales tanto en ovinos como caprinos en diferentes sistemas de producción (Gutiérrez-Segura *et al.*, 2003, Torres-Acosta *et al.*, 2004, 2006; Hoste *et al.*, 2005; Knox *et al.*, 2006). Los resultados positivos han sido obtenidos tanto en animales en crecimiento como en animales adultos (hembras reproductoras). Sin embargo, la suplementación debe ser diseñada de acuerdo con las necesidades específicas de cada productor en cada granja. La naturaleza del suplemento (tipo de nutriente y cantidad) dependerá del nutriente específico que está limitando la productividad animal. En general, el costo de la suplementación ha sido cubierto fácilmente por la notable mejora en la resiliencia (más ganancia de peso, producción de leche, etc.). Por otro lado, algunos alimentos o nutrientes pueden tener también un efecto antihelmíntico directo en contra de las poblaciones de vermes. Algunas plantas normalmente utilizadas para alimentar rumiantes también contienen compuestos secundarios de plantas (CSP). Estos últimos son capaces de afectar la biología de los NGI (Sayers y Sweeney, 2005). Los taninos contenidos en las plantas taniíferas son un ejemplo de CSP con efecto sobre los NGI. El consumo de algunos forrajes ricos en taninos puede afectar negativamente la capacidad de las  $L_3$  para desenvainar y establecerse en el animal por lo que se infecta menos (Alonso-Díaz *et al.*, 2008a; 2008b; Brunet *et al.*, 2008). De igual manera, el consumo de algunos forrajes ricos en taninos parece afectar a los parásitos adultos ya establecidos en el lumen gastrointestinal reduciendo su capacidad de nutrirse y reproducirse (Martínez Ortiz de Montellano *et al.*, 2009). Sin embargo, la naturaleza y actividad biológica de los taninos parecen ser esenciales para que se presenten estos efectos. Es por esto que se requieren más estudios de estas cualidades y de la posible adaptación a los taninos por parte de animales y parásitos. En áreas donde los taninos son parte de la dieta, los pequeños rumiantes parecen capaces hasta cierto

punto de bloquear los taninos con su saliva. Así mismo, los NGI de esas áreas podrían estar adaptados a algunos materiales ricos en taninos. Otros CSP con actividad biológica sobre los NGI están siendo investigados. Algunos grupos de investigación tienen como finalidad encontrar un CSP que pueda ser transformado en un nuevo AH comercial o al menos en una medicina de herbolaria que pudiera ser patentada y comercializada. Otros grupos están más interesados en los CSP como nutraceuticos, es decir, alimentos que pueden ayudar a los animales a controlar su infección por NGI sin dejar de ser esencial y principalmente un alimento (Hoste *et al.*, 2008b; Alonso Diaz, *et al.*, 2010).

Otro alimento con efecto antihelmíntico directo sobre los NGI son las agujas de óxido de cobre (AOC) (Bang *et al.*, 1990a, 1990b; Knox, 2002; Martínez-Ortiz-de-Montellano *et al.*, 2007). Éstas son utilizadas para suplementar Cu a rumiantes en áreas del mundo donde este micronutriente es deficitario en el pastoreo/ramoneo. Las AOC pueden destruir una cantidad significativa de *Haemonchus contortus*, comparado con los animales testigo no tratados, al menos por 35 días después de una aplicación única. Sin embargo, en las áreas donde el Cu no es deficitario éste se acumulará y pudiera ser tóxico para los animales tratados. Sin embargo, los bovinos y caprinos son menos susceptibles a la intoxicación que los ovinos. Esto puede ser fácilmente monitoreado en animales tratados y se pueden prevenir problemas en los animales tratados estratégicamente con este producto. Aun en los animales clínicamente sanos (sin signos de intoxicación por Cu) los hígados pueden tener elevados niveles de Cu y pueden ser confiscados en el matadero. También se debe considerar que el Cu será eliminado en las heces. Aunque esto ha sido insuficientemente investigado, el Cu pudiera tener consecuencias sobre la biota de las praderas. Por otro lado, la destrucción selectiva de *H. contortus* por las AOC, y el casi nulo efecto sobre otras especies de NGI (Bang *et al.*, 1990b; Chartier *et al.*, 2000) presentes en una infección natural, resultan en escasos efectos sobre la productividad animal (Torres-Acosta y Hoste, 2008).



Uno de los MAC que ha sido constantemente sugerido como la panacea del control de NGI es la selección de razas de animales resistentes a la infección por estos nematodos (Bishop y Morris, 2007; Vagenas *et al.*, 2002). La selección natural de los animales más aptos ha producido numerosos biotipos de animales nativos de diferentes zonas del planeta que han desarrollado un grado importante de resistencia contra la infección por NGI (Gutiérrez-Gil *et al.*, 2010). Estos importantes conglomerados de genes, la mayoría de los cuales no pueden ni siquiera ser llamados razas, han sido consistentemente erosionados por el influjo de lo que se conoce como “razas mejoradas” con la promesa de sustituir animales “improductivos” por animales “productivos”. La experiencia de Australia y Nueva Zelanda ha demostrado que es también importante (tal vez más importante) producir animales resilientes (que serán capaces de producir sin importar la carga de huevos de NGI en heces) en lugar de tener animales con gran resistencia contra los NGI (Bisset *et al.*, 1996). Es un hecho que ahora se sabe que los animales muy resistentes a los NGI pudieran sobrerreaccionar ante la presencia de infección por NGI y dejan a los animales con una pobre productividad (Doeschl-Wilson *et al.*, 2008). Sin embargo, en otras partes del mundo su experiencia no ha sido escuchada y en muchas ocasiones se cometen los mismos errores del pasado.

Otro MCA que ha sido investigado es el desarrollo de vacunas contra los NGI. Un gran éxito ha sido anunciado recientemente. La disponibilidad de una vacuna de antígenos ocultos que funciona contra *H. contortus*. La tecnología para producir suficiente antígeno directamente de estos parásitos ha sido desarrollada y la vacuna está en camino de ser probada en el campo en ovinos y caprinos (Le Jambre *et al.*, 2008). La viabilidad económica (costo *vs.* beneficio para el productor) de este MCA será crucial si se piensa en que sea adoptado por los usuarios finales en el futuro cercano.

## CONCLUSIÓN

Se han alcanzado resultados prometedores con todos los MAC de NGI. Se requiere implementar estrategias de transferencia de tecnología en las cuales los productores aprenden a usar las diferentes estrategias considerando sus condiciones, granja por granja. Éstos requerirán manipular todo el beneficio potencial de cada uno de los MAC y aprender cómo combinarlos para lograr aún mayores beneficios. Estos MAC deben ser usados como una canasta de opciones y evitar utilizar un método único.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-Díaz M.A., Torres Acosta J.F.J., Sandoval Castro C.A., Aguilar Caballero A.J., Hoste H. (2008a). "In vitro larval migration and kinetics of exsheathment of *Haemonchus contortus* larvae exposed to four tropical tanniferous plant extracts". *Vet. Parasitol.* 153: 313-319.
- Alonso-Díaz M.A., Torres-Acosta J.F.J., Sandoval-Castro C.A., Capetillo-Leal C., Brunet S., Hoste H. (2008b). "Effects of four tropical tanniferous plant extracts on the inhibition of larval migration and the exsheathment process of *Trichostrongylus colubriformis* infective stage". *Vet. Parasitol.* 153: 187-192.
- Alonso-Díaz, Torres-Acosta J.F.J., Sandoval-Castro C.A., Hoste H. (2010). "Tannins in tropical tree fodders fed to small ruminants: A friendly foe?" *Small Rumin. Res.* 89, 164-173.
- Bang K.S., Familton A.S., Sykes A.R. (1990a). "Effect of copper oxide wire particle treatment on establishment of major gastro-intestinal nematodes in lambs". *Res. Vet. Sci.* 49: 132-137.
- \_\_\_\_\_ (1990b). "Effect of ostertagiasis on copper status in sheep: a study involving use of copper oxide wire particles". *Res. Vet. Sci.* 49: 306-314.
- Barger I.A., Siale K., Banks D.J.D., Le Jambre L.F. (1994). "Rotational grazing for control of gastrointestinal nematodes of goats in a wet tropical environment". *Vet. Parasitol.* 53: 109-116.
- Bath G.F., Van Wyk J.A. (2009). "The Five Point Check© for targeted selective treatment of internal parasites in small ruminants". *Small Rumin. Res.* 86: 6-13.

- Bishop S.C., Morris C.A. (2007). Genetic of disease resistance in sheep and goats. *Small Rumin. Res.* 70: 48–59.
- Bisset S.A., Morris C.A., Squire D.R., Hickey S.M. (1996). “Genetics of resilience to nematode parasites in young Romney sheep – use of weight gain under challenge to assess individual anthelmintic treatments”. *N. Z. J. Agric. Res.* 39: 314–323.
- Braga F.R., Ferreira S.R., Araújo J.V., Araujo J.M., Silva A.R., Carvalho R.O., Campos A.K., Freitas L.G. (2010). “Predatory activity of *Pochonia chlamydosporia* fungus on *Toxocara* (syn *Neoascaris*) vitulorum eggs”. *Trop. Anim. Health Prod.* 42: 309–314.
- Brunet S., Martinez-Ortiz de Montellano C., Torres-Acosta J.F.J., Sandoval-Castro C.A., Aguilar-Caballero A.J., Capetillo-Leal C., Hoste H. (2008). “Effect of the consumption of *Lysiloma latisiliquum* on the larval establishment of gastrointestinal nematodes in goats”. *Vet. Parasitol.* 157: 81–88.
- Burke J.M., Miller J.E., Terrill T.H. (2009). “Impact of rotational grazing on management of gastrointestinal nematodes in weaned lambs”. *Vet. Parasitol.* 163: 67–72.
- Cabaret J., Bouilhol M., Mage C. (2002). “Managing helminthes of ruminants in organic farming”. *Vet. Res.* 33: 625–640.
- Campos A.K., Araujo J.V., Guimaraes M.P., Dias A.S. (2009). “Resistance of different fungal structures of *Duddingtonia flagrans* on larvae of *Haemonchus contortus* and *Strongyloides papillosus* in goat feces”. *Parasitol Res.* 105: 913–919.
- Chandrawathani P., Jamnah O., Waller P.J., Høglund J., Larsen M., Zahari W.M. (2004). “Nematophagous fungi as a biological control agent for nematode parasites of small ruminants in Malaysia: a special emphasis on *Duddingtonia flagrans*”. *Vet. Parasitol.* 33: 685–696.
- Chartier C., Etter E., Hoste H., Pors I., Koch C., Dellac B. (2000). “Efficacy of copper oxide needles for the control of nematode parasites of dairy goats”. *Vet. Res. Comm.* 24: 389–399.
- Colvin A.F., Walkden-Brown S.W., Knox M.R., Scott J.M. (2008). “Intensive rotational grazing assists control of gastrointestinal nematodosis of sheep in a cool temperate environment with summer-dominant rainfall”. *Vet. Parasitol.* 153: 108–120.
- Coop R.L., Kyriazakis I. (2001). “Influence of host nutrition on the development and consequences of nematode parasitism in ruminants”. *Trends Parasitol.* 17: 325–330.

- Doeschl-Wilson A.B., Vagenas D., Kyriazakis I., Bishop S.C. (2008). "Exploring the assumption underlying genetic variation in host nematode resistance". *Genet. Sel. Evol.* 40: 241-264.
- Durand D.T., Boshoff H.M., Michael L.M., Krecek R.C. (2005). "Survey of nematophagous fungi in South Africa". *Onderstepoort J. Vet. Res.* 72: 185-187.
- Epe C., Holst C., Koopmann R., Schnieder T., Larsen M., Von Samson-Himmelstjerna V. (2009). "Experiences with *Duddingtonia flagrans* administration to parasitized small ruminants". *Vet. Parasitol.* 159: 86-90.
- Gaba S., Cabaret J., Sauve C., Cortet J., Silvestre A. (2010). "Experimental and modeling approaches to evaluate different aspects of the efficacy of target selective treatment of anthelmintic against sheep parasite nematode". *Vet. Parasitol.* 171: 254-262.
- Getachew T., Dorchie P., Jacquet P. (2007). "Trends and challenges in the effective and sustainable control of *Haemonchus contortus* infection in sheep". *Review. Parasite.* 14: 3-14.
- Graminha E.B.N., Costa A.J., Oliveira G.P., Monteiro A.C., Palmeira S.B.S. (2005). "Biological control of sheep parasite nematodes by nematode-trapping fungi: *in vitro* activity and after passage through the gastrointestinal tract". *World J. Microbiol. Biotechnol.* 21: 717-722.
- Greer A.W., Kenyon F., Bartley D.J., Jackson E.B., Gordon Y., Donnan A.A., McBean D.W., Jackson F. (2009). "Development and field evaluation of a decision support model for anthelmintic treatments as part of a targeted selective treatment (TST) regime in lambs". *Vet. Parasitol.* 164: 12-20.
- Gutiérrez-Segura I., Torres-Acosta J.F., Aguilar-Caballero A., Cob-Galera L., May-Martínez M., Sandoval-Castro C. (2003). "Supplementation can improve resilience and resistance of browsing criollo kids against nematode infections during the wet season". *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 3: 537-540.
- Gutierrez-Gil B., Pérez J., De la Fuente L.F., Meana A., Martínez-Valladares M., San Primitivo F., Rojo-Vázquez F.A., Arranz, J. (2010). "Genetic parameters for resistance to trichostrongylid infection in dairy sheep". *Animal.* 4: 505-512.
- Hoste H., Le Frileux Y., Pommaret A. (2002). "Comparison of selective and systematic treatments to control nematode infection of the digestive tract in dairy goats". *Vet. Parasitol.* 106: 345-355.
- Hoste H., Torres-Acosta J.F., Paolini V., Aguilar-Caballero A.J., Etter E., Lefrileux Y., Chartier C., Broqua C. (2005). "Interactions between nutrition and gastrointestinal infections with parasitic nematodes in goats". *Small Rumin. Res.* 60: 141-151.

- Hoste H., Torres-Acosta J.F.J., Aguilar-Caballero A.J., (2008a). "Nutrition-parasite interactions in goats: is immunoregulation involved in the control of gastrointestinal nematodes?" *Parasite Immunol.* 30: 79-88.
- Hoste H., Torres Acosta J.F.J., Alonso Díaz M.A., Brunet S., Sandoval Castro C., Houzangbe Adote S. (2008b). "Identification and validation of bioactive plants for the control of gastrointestinal nematodes in small ruminants". Proceedings of 5<sup>th</sup> International Workshop: Novel Approaches to the Control of Helminth Parasites of Livestock. *Trop. Biomedicine.* 25 (suppl. 1): 56-72.
- Jackson F., Coop R.L. (2000). "The development of anthelmintic resistance in sheep nematodes". *Parasitol.* 120: 95-107.
- Jackson F., Miller J.E. (2006). "Alternative approaches to control-Quo vadit?" *Vet. Parasitol.* 139: 371-384.
- Kaminsky R., Gauvry N., Schorderet Weber S., Skripsky T., Bouvier J., Wenger A., Schroeder F., Desales Y., Hotz R., Goebel T., Hosking B.C., Pautrat F., Wieland-Berghausen S., Ducray P. (2008). "Identification of the amino-acetonitrile derivative monepantel (AAD 1566) as a new anthelmintic drug development candidate". *Parasitol Res.* 103: 931-939.
- Kaplan R.M. (2004). "Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report". *Trends Parasitol.* 20: 477-481.
- Kelly P., Good B., Hanrahan J.B., Fitzpatrick R., De Waal T. (2009). "Screening for the presence of nematophagous fungi collected from Irish sheep pastures". *Vet. Parasitol.* 165: 345-349.
- Kenyon F., Greer A.W., Coles G.C., Cringoli G., Papadopoulos E., Cabaret J., Berrag B., Varady M., Van Wyk J.A., Thomas E., Vercruyse J., Jackson F. (2009). "The role of targeted selective treatments in the development of refugia-based approaches to the control of gastrointestinal nematodes of small ruminants". *Vet. Parasitol.* 164: 3-11.
- Knox M.R. (2002). "Effectiveness of copper oxide wire particles for *Haemonchus contortus* control in sheep". *Aust. Vet. J.* 80: 224-227.
- Knox M.R., Torres-Acosta J.F.J., Aguilar-Caballero A.J. (2006). "Exploiting the effect of dietary supplementation of small ruminants on resilience and resistance against gastrointestinal nematodes". *Vet. Parasitol.* 139: 385-393.
- Larsen M., Faedo M., Waller P.J. (1994). "The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep: survey for the presence of fungi in fresh faeces of grazing livestock in Australia". *Vet. Parasitol.* 53: 275-281.

- Larsen M., Faedo M., Waller P.J., Hennessy D.R. (1998). "The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep: studies with *Duddingtonia flagrans*". *Vet. Parasitol.* 76: 121–128.
- Le Jambre L.F., Windon R.G. and Smith W.D. (2008). "Vaccination against *Haemonchus contortus*: Performance of native parasite gut membrane glycoproteins in Merino lambs grazing contaminated pasture". *Vet. Parasitol.* 153: 302-312.
- Manueli P.R., Waller P.J., Faedo M., Mohammed F. (1999). "Biological control of nematode parasites of livestock in Fiji: screening of fresh dung of small ruminants for the presence of nematophagous fungi". *Vet. Parasitol.* 82: 39–45.
- Martínez-Ortiz-de-Montellano C., Vargas-Magaña J.J., Aguilar-Caballero A.J., Sandoval Castro C., Cob-Galera L., May Martínez M., Miranda-Soberanis L., Hoste H., Torres-Acosta J.F.J. (2007). "Combining the effects of supplementary feeding and copper oxide needles improves the control of gastrointestinal nematodes in browsing goats". *Vet. Parasitol.* 146: 66–76.
- Martínez-Ortiz-de-Montellano C., Fourquaux I., Brunet S., Torres-Acosta J.F.J., Sandoval-Castro C.A., Hoste H. (2009). "Scanning electron microscopy of *Haemonchus contortus* adults after contact with extracts of two tannin rich plants: *Lysiloma latisiliquum* and *Onobrychis viciifolia*". En: World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology 2009, Abstract Volume. 8<sup>th</sup> – 13<sup>th</sup> August, Calgary, Canada. Pp. 165-166.
- McEwen H. (2000). Nematophagous Fungi from Farm Soils in the Lower North Island New Zealand. MSc Thesis. Victoria University of Wellington, New Zealand, Wellington.
- Mendoza-De-Gives P., Nieto C.Z., Hernández E.L., Arellano M.E.L., Rodríguez D.H., Garduño R.G. (2006). "Biological control of gastrointestinal parasitic nematodes using *Duddingtonia flagrans* in sheep under natural conditions in Mexico". *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1081: 355-359.
- Michel J.E. (1985). "Strategies for the use of anthelmintics in livestock and their implications for the development of drug resistance". *Parasitology.* 90: 621–628.
- O'Connor L.J., Walkden-Brown S.W., Kahn L.P. (2006). "Ecology of the free-living stages of major trichostrongylid parasites of sheep". *Vet. Parasitol.* 142: 1-15.
- Ojeda-Robertos N.F., Torres-Acosta J.F.J., Aguilar-Caballero A.J., Ayala-Burgos A., Cob-Galera L.A., Sandoval-Castro C.A., Barrientos-Medina R.C., Mendoza-de-Gives P. (2008). "Assessing the efficacy of *Duddingtonia flagrans* chlamydospores per gram of faeces to control *Haemonchus contortus* larvae". *Vet. Parasitol.* 158: 329-335.

- Saumell C.A., Padilha T., Santos C., de P., Roque M.V. (1999). "Nematophagous fungi in fresh feces of cattle in the Mata Region of Minas Gerais state, Brazil". *Vet. Parasitol.* 82: 217-220.
- Sayers G., Sweeney T. (2005). "Gastrointestinal nematode infection in sheep – a review of the alternative to anthelmintics in parasite control". *Anim. Health Res. Rev.* 2: 159-171.
- Silva A.R., Araujo J.V., Braga F.R., Benjamim L.A., Souza D.L., Carvalho R.O. (2010). "Comparative analysis of destruction of the infective forms of *Trichostrongylus axei* and *Haemonchus contortus* by nematophagous fungi *Pochonia chlamydosporia*; *Duddingtonia flagrans* and *Monacrosporium thau-masium* by scanning electron microscopy". *Vet. Microbiol.* Doi: 10.1016/j.vetmic.2010.06.019
- Stafford K.A., Morgan E.R., Coles G.C. (2009). "Weight-based targeted selective treatment of gastrointestinal nematodes in a commercial sheep flock". *Vet. Parasitol.* 164: 154-169.
- Thamsborg S.M., Jørgensen R.J., Waller P.J., Nansen P. (1996). "The influence of stocking rate on gastrointestinal nematode infections of sheep over a 2-year grazing period". *Vet. Parasitol.* 67: 207-224.
- Thamsborg S.M., Jørgensen R.J., Ranvig H., Bartlett P., Waller P.J., Nansen P. (1998). "The performance of grazing sheep in relation to stocking rate and exposure to nematode infections". *Livestock Prod. Sci.* 53: 265-277.
- Torres-Acosta J.F.J., Jacobs D.E., Aguilar-Caballero A., Sandoval-Castro C., May-Martinez M., Cob-Galera L.A. (2004). "The effect of supplementary feeding on the resilience and resistance of browsing Criollo kids against natural gastrointestinal nematode infections during the rainy season in tropical Mexico". *Vet. Parasitol.* 124:217-238.
- Torres-Acosta J.F.J., Jacobs D.E., Aguilar-Caballero A.J., Sandoval-Castro C., Cob-Galera L., May-Martínez M. (2006). "Improving resilience against natural gastrointestinal nematode infections in browsing kids during the dry season in tropical Mexico". *Vet. Parasitol.* 135:163-173.
- Torres-Acosta J.F.J., Hoste H. (2008). "Alternative or improved methods to limit gastrointestinal parasitism in grazing sheep and goats". *Small Rumin. Res.* 77: 159-173.
- Torres-Acosta J.F.J., Cámara-Sarmiento R., Aguilar-Caballero A.J., Canul-Ku H.L., Pérez-Cruz M. (2009). *Estrategias de desparasitación selectiva dirigida. Avances en el control de la parasitosis gastrointestinal de ovinos en el trópico.* Compilado por: Gonzalez Garduño R. y Berumen Alaforte A.C. Universidad Autónoma de Chapingo, C.R.U.S.E. Tabasco, México. pp. 50-62. ISBN: 978-607-12-0089-1, México.

- Vagenas D., Jackson F., Merchant M., Wright I.A., Bishop S.C. (2002). "Genetic control of resistance to gastro-intestinal parasites in crossbred cashmere-producing goats: responses to selection, genetic parameters and relationships with production traits". *Anim. Sci.* 74: 199–20.
- Van Dijk J., Sargison N.D., Kenyon F., Skuce P.J. (2010). "Climate change and infectious disease: helminthological challenges to farmed ruminants in temperate regions". *Animal.* 4: 377-392.
- Van Wyk J.A. (2001). Refugia –overlooked as perhaps the most potent factor concerning the development of anthelmintic resistance. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 68: 55–67.
- Van Wyk J.A., Malan F.S., Randles J.L. (1997). "How long before resistance makes it impossible to control some field strains of *Haemonchus contortus* in South Africa with any of the anthelmintics?" *Vet Parasitol.* 70: 111–122.
- Van Wyk J.A., Bath G.F. (2002). "The FAMACHA© system for managing haemonchosis in sheep and goats by clinically identifying individual animals for treatment". *Vet. Res.* 33: 509–529.
- Van Wyk J., Hoste H., Kaplan R., Besier R.B. (2006). "Targeted selective treatment for worm management – how do we sell rational programmes to farmers?" *Vet. Parasitol.* 139: 336–346.
- Waller P.J. (2006). "Sustainable nematode parasite control strategies for ruminant livestock by grazing management and biological control". *Anim. Feed Sci. Technol.* 126: 277-289.



# LAS ARVENSES Y ESPECIES NATIVAS UTILIZADAS COMO FORRAJE EN LOS SISTEMAS GANADEROS, COMO MEJORADORAS DE LA EFICIENCIA RUMINAL Y REDUCTORAS DE EMISIONES DE METANO

*J.G. Estrada-Flores, R. Martínez-Loperena,  
E. Andrade-Rivero, A.R. Martínez-Campos,  
O.A. Castelán-Ortega*

**RESUMEN** Las arvenses y la vegetación nativa presente en el Estado de México son forrajes no convencionales que pueden representar una alternativa de alimentación al ganado lechero en los sistemas de producción campesinos. Este documento muestra la calidad nutritiva de diez especies de arvenses presentes en terrenos de cultivo de maíz en el valle de Toluca, Estado de México, su cinética de fermentación ruminal y los contenidos de metabolitos secundarios. Así también, la evaluación de dos compuestos de aceites esenciales y su comportamiento sobre los microorganismos en la fermentación ruminal *in vitro*. La finalidad es utilizar estos forrajes como mejoradores de la fermentación ruminal que permitan la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero como el metano.

**Palabras clave:** arvenses, forrajes nativos, fermentación ruminal, gases de efecto invernadero

**SUMMARY**- Weeds and other native vegetation present in the State of Mexico are non-conventional forages that can represent an alternative to feed dairy cattle in the *campesino* production systems of the region. The present work describes the nutritional attributes, *in vitro* rumen fermentation

kinetics and plant's secondary metabolites content of the ten most common weed species, which are present in the maize fields in the Toluca Valley, Central Mexico. It is also described the potential use of these plant species to improve ruminal fermentation and reduce the emission of methane, a green house effect gas released during rumen fermentation.

**Key words:** weeds, native forage, rumen fermentation, green house gases

## INTRODUCCIÓN

La utilización de la vegetación nativa como forraje para el ganado lechero en los diferentes esquemas de producción animal representa una opción del uso adecuado de los recursos naturales disponibles en los sistemas de producción campesinos. Las arvenses son las plantas que crecen dentro de los terrenos de cultivo de maíz al cual el hombre les ha dado alguna utilización ya sea como plantas ornamentales, como alimento para los humanos en forma de quelite (Vieyra-Odilón y Vibrans, 2001), o incluso como forraje para el ganado lechero, tienen un uso estacional, exclusivo de la época de lluvias y localizado a la zona central de México, como lo es el valle de Toluca (Castelán *et al.*, 2003; Estrada-Flores, 2005). La diversidad de estas especies en los terrenos de cultivo representa un valor adicional para la alimentación del ganado, ya que es un recurso natural que se encuentra disponible en el sistema.

En el sur del Estado de México, los animales se alimentan a base de pastoreo, consumiendo principalmente *C. plectostachyus*; sin embargo, en los potreros existe una gran diversidad de especies forrajeras nativas asociadas a éste y representan una fuente adicional de alimento. La importancia de estas especies para que sean utilizadas como forraje es que cuentan con un importante valor nutritivo en referencia a sus aportes de energía y proteína. Tienen un componente en metabolitos secundarios, los cuales no solo pueden mejorar la fermentación ruminal o permiten el adecuado aprovechamiento de la proteína, también pueden ayudar en el mejoramiento de la fermentación ruminal al actuar sobre esta disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las emisiones de gases de efecto invernadero originadas por las actividades humanas son las responsables del cambio climático, algunos de estos gases tales como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los llamados clorofluorcarbonos son los principales responsables de dicho efecto. Se considera al CO<sub>2</sub> el más abundante y el que actualmente tiene un mayor aporte al incremento del calentamiento global, no obstante hoy día las concentraciones de metano son inferiores a las de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el metano se está incrementando rápidamente y su potencial de absorción de radiación es aproximadamente hasta de 21-30 veces más con respecto del CO<sub>2</sub>, considerándose que con el tiempo el metano pueda ser predominante (McCaughey, 1999). El objetivo de este trabajo fue conocer la calidad nutritiva de algunas arvenses y plantas nativas, determinar la cinética de fermentación ruminal, el contenido de metabolitos secundarios y conocer sus efectos sobre la fermentación.

#### LAS ARVENSES EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CAMPESINOS

La definición tradicional de arvense es que son plantas que crecen dentro de los cultivos y que pueden limitar la producción de los mismos (Erman *et al.*, 2004; Larney y Blackshaw, 2003). Sin embargo, para los pequeños productores mexicanos o para algunos países en desarrollo esto no es así ya que se pueden considerar como plantas benéficas. Las arvenses de maíz generalmente no causan daño a los cultivos, solo cuando abundan al inicio del desarrollo del cultivo y pueden competir intensamente con las plantas pequeñas; pero las arvenses que se establecen después de 40 días de nacidas las plantas de cultivo, ya no afectan el desarrollo y producción de granos, aunque sus poblaciones sean abundantes, excepto si son especies trepadoras como *Echynostictis lobata* (calabacilla) y *Sicyos deppei* G. Don (Chayotillo) que se enredan en las plantas de maíz y pueden derribarlas, además producen espinas que dificultan la cosecha (Vieyra-Odilón y Vibrans, 2001).

Las arvenses tienen un potencial reproductivo alto debido a una producción y viabilidad elevada de sus semillas por varios años, aunque no siempre y una reproducción continua de semillas de algunas especies. Por otro lado, el comportamiento del banco de semilla es de gran persistencia, ya que la vida media de las semillas dentro del suelo es mayor a dos años en la mayoría de los casos, sobreviven a situaciones cambiantes o extremas, además su amplia distribución es consecuencia de su gran potencial de colonización y dispersión (Espinosa-García, 1997).

#### USO Y APROVECHAMIENTO DE LAS ARVENSES EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN PEQUEÑA ESCALA DEL VALLE DE TOLUCA

Las arvenses son utilizadas en combinación con pastoreo de besanas o bien administradas directamente en los comederos durante todo el día, en muchas ocasiones contribuyen a subsanar la falta de zonas de pastoreo comunal ya que gran parte de la tierra agrícola se encuentra dedicada al cultivo del maíz, incrementando con ello la posibilidad de tener mayor número de cabezas de ganado, ya que la disponibilidad de rastrojo de maíz durante la época de lluvias es limitada (Arriaga *et al.*, 1997). La mayoría de los pequeños productores proporcionan estas plantas a sus animales tal como las cortan y algunos las proporcionan picada. La cantidad suministrada depende de la disponibilidad del forraje la cual está directamente relacionada con el área dedicada al cultivo de maíz, así como el tiempo que el productor dedica a su corte, que está limitado por el cumplimiento de otras tareas que tienen mayor peso específico dentro de la unidad de producción en las diferentes temporadas del año (González *et al.*, 1997).

Además de su uso en la alimentación del ganado bovino, las arvenses también son utilizadas para alimentar al ganado ovino, equino y porcino que se encuentra en la unidad de producción. Dentro de las arvenses utilizadas como alimento para el hombre se encuentran especies como el quelite cenizo, *Chenopodium álbum*, cuyas hojas son utilizadas como alimento,

o las plantas del género *Amaranthus* en la preparación de dulces como la “alegría” que es utilizada en México desde tiempos prehispánicos (Nava, 1995, Vieyra y Vibrans, 2001). A este tipo de plantas se les ha dado el nombre genérico de quelite, cuyo principal consumo es en forma de “verdura”. Marshall *et al.* (2003) indican que existen datos en los que las arvenses cumplen un papel importante en la biodiversidad teniendo efectos benéficos, por ejemplo en el control de plagas y varias especies de pájaros. Por otro lado especies como *Poa annua* L. y *P. aviculare* tienen mayor importancia para la biodiversidad en sistemas de cultivos que otras como la *A. myosuroides* y *V. persica*. Ellos concluyen que es necesario conocer el manejo y el efecto que tiene el uso de los herbicidas sobre la diversidad de arvenses, así como la comprensión y datos cuantitativos sobre las interacciones entre flora y fauna y los espacios destinados a cultivos.

#### UTILIZACIÓN DE PASTIZALES NATIVOS COMO RECURSO EN LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO LECHERO

En el sur del Estado de México existe una zona de transición ecológica, localizada entre las coordenadas 18° 45' 00" y 19° 15' 00" latitud norte; 99° 25' 00" y 100° 28' 00" longitud oeste que abarca porciones de veinte municipios, entre los que se encuentra Temascaltepec, Tejupilco y Amatepec. La zona se encuentra al norte de la Provincia de la Depresión del Balsas, perteneciente a la Región Caribe del Reino Neotropical, caracterizado por la presencia de diversas formas de relieve, variación de altitudes, estructuras geológicas, tipos de suelo, cuencas hidrológicas con climas cálidos y semicálidos, lo que favorece a una amplia diversidad biológica y agroecológica. Perteneciente al ecosistema de bosque tropical caducifolio, en asociación con otras especies vegetales inducidas (Juan y Madrigal, 2004).

Los pastizales nativos en zonas de transición ecológica son espacios que forman parte del sistema para la alimentación del ganado. Allí se encuentran diversas especies de plantas arbóreas, arbustivas y herbáceas que en interacción con otros componentes físicos y biológicos funcionan como un

ecosistema con características intermedias entre un ecosistema natural y un ecosistema donde interviene el ganado, donde existe un beneficio a la economía de los productores de leche ya que es un recurso con el que cuentan (Juan y Madrigal, 2004).

Los pastizales nativos cuentan con una amplia diversidad de plantas que en conjunto representan una estrategia para complementar la dieta del ganado (Juan y Madrigal, 2004). Los pastizales nativos cuentan con una gran agrodiversidad, estas zonas son manejadas por el hombre para su beneficio, donde el ganado compite con otros componentes del sistema por espacio y recurso (Calzada, 1996; Burel y Baudry, 2002). El pastoreo es una forma importante de distribución de vegetación, que depende de los efectos de la morfología de la planta y esto puede ayudar a la regeneración de los ciclos entre la estructura química de la vegetación y el estado de los nutrientes (Muslera y Ratera, 1994).

La utilización de comunidades vegetales y el suelo en el que se asientan, para propósitos pecuarios, es definida como el aprovechamiento de la vegetación natural o la sustitución de ésta por especies cultivadas con el propósito de alimentar directamente sobre el terreno a herbívoros domésticos que son útiles al hombre. En México existen más de 130 millones de hectáreas utilizadas para actividades ganaderas, 16 entidades federativas dedican más de 50% de su territorio a la ganadería. El principal grupo que se cría en México son los bovinos; la expansión de la ganadería bovina se explica en el hecho de que su práctica es fundamentalmente de carácter extensivo y especializado, es decir, ocupa enormes extensiones de terreno con matorrales, bosques o pastos naturales, aproximadamente 65% del territorio nacional que es utilizado para la ganadería está dedicado a la producción de bovinos esto es 84 millones de hectáreas. Lo anterior supone el libre pastoreo de un solo tipo de animales sobre la vegetación (zonas de agostadero), lo que ocasiona que los animales elijan selectivamente los pastos y plantas más palatables, favoreciendo así: la invasión de malezas y el deterioro del agostadero, como resultado de lo anterior la ganadería bovina en México presenta muy baja productividad (González y Amo, 1999).

Los índices de agostadero, es decir, la superficie requerida para engordar una cabeza de ganado, oscilan entre 0.8 hectáreas en las áreas tropicales cálido-húmedas y hasta 50 hectáreas en las regiones áridas y semiáridas del país. Los promedios nacionales oscilan en tres hectáreas (González y Amo, 1999).

A pesar de esto los pastizales nativos en el Estado de México cuentan con una limitante para la producción de forraje; es evidente que por la limitada distribución de las lluvias durante el año, la producción animal enfrenta situaciones de marcado déficit alimenticio, tanto en calidad como en cantidad de nutrientes; durante la época de escasez de forrajes (periodo de estiaje) el ganado experimenta pérdidas de peso.

## EVALUACIÓN NUTRITIVA DE LAS ARVENSES EN EL VALLE DE TOLUCA

### **Selección de las muestras de arvenses en el valle de Toluca**

Este análisis surge como parte de los resultados obtenidos por Castelán *et al.* (2003) y Estrada-Flores *et al.* (2009) donde se observó que el principal aporte de las arvenses fue el elevado contenido de proteína cruda presente en algunas especies, por lo que se realizaron inclusiones de arvenses a rastrojo de maíz en diferentes concentraciones. Las especies seleccionadas se obtuvieron a partir de la determinación de la abundancia en los terrenos de cultivo. En este caso las muestras se obtuvieron a partir de 10 parcelas en las localidades de Santa Juana Centro, Municipio de Almoloya de Juárez y en Tabora, Municipio de Temoaya.

### *Determinación de frecuencia y abundancia de especies de arvenses*

La determinación de la abundancia de especies se llevó a cabo a través del método de cuadrantes propuesto por Castelán-Ortega, (1999), Castelán *et al.* (2003). Éste consiste en contar el número de individuos de cada una de las especies presentes en un cuadrante de 0.5 x 0.5 metros, y

tuvo una repetibilidad de 15 cuadrantes por parcela. La determinación de abundancia y frecuencia se realizó siguiendo las fórmulas propuestas por García *et al.* (2000), que son las siguientes:

$$A = \frac{V_{sj}}{C_s} \times 100$$

A=Abundancia

Cs

Vsj=Valor obtenido por las especies de los cuadrantes

Cs=Número total de los cuadrantes con las especies

Adicionalmente, se tomaron por separado muestras de plantas completas con flores de cada una de las especies encontradas en el cuadrante para la determinación botánica. Los muestreos se realizaron mensualmente a partir de agosto hasta noviembre de 2007, que es cuando la mayoría de las plantas se encuentran en floración y cuando tradicionalmente son utilizadas por los campesinos para la alimentación del ganado. Una vez conocida la abundancia de especies se seleccionaron las 10 más abundantes presentes en los tres periodos de muestreo.

#### *Determinación de la producción de gas in vitro*

Se utilizó la técnica propuesta por Theodorou *et al.* (1994) modificado por la universidad de Reading según Mauricio *et al.* (1999). El principio fundamental de esta técnica es que la cantidad de gas que se produce y la tasa a la que se libera es directamente proporcional a la degradación de la materia seca. El volumen acumulado de gas de cada una de las botellas se ajustó al modelo matemático propuesto por Jessop y Herreo (1996),  $GP = a \cdot (1 - \exp(-ca + t)) + b \cdot (1 - \exp(-cb \cdot (t - lag))) \cdot (t > lag) - 1$ . Donde PG es la producción acumulada de gas, *a* es la producción de gas a las cuatro horas de fermentación, *b* es la producción potencial de gas, *ca* es la tasa de fermentación de la fracción *a*, *cb* la tasa de fermentación de la fracción *b* y *lag* es la fase antes de iniciar la fermentación de la FDN. Para la realización de los ajustes se utilizó el programa Grafit v3. También se determinó la digestibilidad de la



materia seca (d MS) y la digestibilidad de la fibra nertro detergente (d FND) Pell y Schofield (1993).

#### *Niveles de Inclusión de las arvenses al rastrojo de maíz*

Se utilizaron cinco niveles de inclusión 100/0, 80/20, 60/40, 40/60 y 20/80, de arvense/rastrojo de maíz respectivamente. Se determinó el contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra ácido detergente (FDA), digestibilidad de la materia seca (d MS), digestibilidad de la fibra detergente neutro dFDN y los parámetros de la cinética de fermentación ruminal.

#### *Determinación de metabolitos secundarios*

La determinación de metabolitos secundarios (fenoles totales, taninos totales y taninos no fenólicos) se hizo mediante la técnica de Makkar (2003). La cantidad de fenoles totales se calculó como el equivalente de ácido tánico con la curva de calibración. La cantidad de taninos no fenólicos se realizó por medio de la curva de calibración y los taninos totales por diferencia entre fenoles totales y taninos no fenólicos.

#### **Abundancia de las especies de arvenses en el valle de Toluca**

El Cuadro 1 muestra las 10 especies seleccionadas por el valor de su abundancia, las familias con mayor número de especies fueron Asteraceae y Poaceae con nueve y ocho especies respectivamente, familias como Cucurbitaceae, Oxalidaceae, Polygonaceae, entre otras, solo registraron una especie. La especie *Oxalis divergens* de la familia Oxalidaceae fue la que presentó una mayor abundancia.

**Cuadro 1.** Índice de abundancia de las 10 especies de arvenses en cultivos de maíz seleccionadas en los tres periodos de muestreo.

	Índice de Abundancia		
	Agosto	Septiembre	Octubre
<i>Bidens anthemoides</i>	2.08	2.48	2.03
<i>Bidens odorata</i>	2.43	1.81	2.19
<i>Cosmos bipinnatus</i>	4.20	3.25	1.00
<i>Drymaria laxiflora</i>	12.79	10.66	4.26
<i>Echinochloa oplismenoides</i>	7.130	2.29	3.37
<i>Oxalis divergens</i>	15.67	10.65	7.44
<i>Simsia amplexicaulis</i>	1.88	1.64	1.32
<i>Tithonia tubiformis</i>	2.67	1.00	1.64
<i>Tridax coronopifolia</i>	2.10	3.47	3.41
<i>Tripogandra purpurascens</i>	3.28	3.20	2.33

Las especies que presentaron la abundancia más alta fueron *Oxalis divergens*, la cual se presenta en la Figura 1 y *Drymaria laxiflora* (Figura 2), lo cual indica que son las que tienen una mayor presencia en los terrenos de cultivo de maíz. Sin embargo, ambas especies no representan un aporte importante desde el punto de vista de su producción de biomasa.



**Figura 1.** *Oxalis divergens*  
Fuente: Conabio/malezas de México



**Figura 2.** *Drymaria laxiflora*

### **Calidad nutritiva de las arvenses**

La calidad nutritiva de las arvenses, por especie y por nivel de inclusión, se presenta en el Cuadro 2. Uno de los principales aportes de las arvenses a la alimentación del ganado lechero es el aporte de proteína, en este caso las especies con mayor contenido de PC fueron *Oxalis divergens* y *Drymaria laxiflora*. Aquí, la suplementación de forrajes de baja calidad nutritiva, como lo es el rastrojo de maíz, en combinación con plantas de otras especies más nutritivas, es una estrategia importante para mejorar la calidad de la mezcla de forrajes en su conjunto; sin embargo, la planta complementaria deberá proveer a los microorganismos del rumen los nutrientes requeridos para su crecimiento y actividad fibrolítica, en especial proteína y energía (Niderkorn y Baumont, 2009).

Los nutrientes especialmente el N, se deben encontrar en forma fácilmente disponible para los microorganismos del rumen, aportando por ejemplo el amonio y los carbohidratos solubles necesarios para la síntesis de proteína microbiana en rumen. Por lo que la presencia de una fuente de fácil fermentación de celulosa y hemicelulosa en la dieta incrementa el número de microorganismos fibrolíticos, estimulando la digestibilidad de otras fuentes bajas en fibras menos degradables como lo es el rastrojo de maíz (Fisher *et al.*, 1995). Este efecto se aprecia claramente pues la digestibilidad de la MS es mayor a altos niveles de inclusión de arvenses en la mezcla, no así la dFDN la cual disminuye; esto sugiere que la fibra de las arvenses es menos digestible por un lado, y por otro lado, que la cantidad de carbohidratos y PC fácilmente fermentables es mayor en las arvenses que en el rastrojo de maíz. Esto es particularmente cierto porque las digestibilidades observadas en el nivel 20/80 corresponde prácticamente a la del rastrojo.

**Cuadro 2.** Composición química (g /kg MS) por especie y nivel de inclusión (arvenses: rastrojo de maíz)

Especie	PC	FDN	FDA	dMS	dFDN
<i>Bidens odorata</i>	42.2	581.2	388.4	594.2	470.0
<i>Bidens anthemoides</i>	70.4	596.1	401.1	548.4	390.5
<i>Cosmos bipinnatus</i>	73.9	634.4	422.8	542.5	427.8
<i>Drymaria laxiflora</i>	86.5	607.1	361.0	548.9	349.5
<i>Echinochloa oplismenoides</i>	60.1	673.7	403.7	613.0	552.7
<i>Tridax coronopifolia</i>	75.0	586.1	390.1	557.8	388.0
<i>Tithonia tubiformis</i>	68.3	609.6	399.6	560.9	525.2
<i>Oxalis divergens</i>	99.1	565.5	360.3	576	652.1
<i>Tripogandra purpuracens</i>	73.1	549.0	334.7	633.4	581.3
<i>Simsia amplexicaulis</i>	69.4	580.2	384.1	566.1	452.8
EEM	3.9	9.3	5.6	18.5	24.9
Nivel de inclusión					
100/0	98.1	499.3	341.0	587.3	432.7
80/20	83.3	550.8	363.9	582.2	464.4
60/40	71.0	597.1	383.6	580.8	466.7
40/60	58.7	644.5	405.6	569.6	502.4
20/80	47.8	699.8	428.7	550.6	528.7
EEM	5.5	13.1	8	26.2	35.3

PC=proteína cruda, FDN=fibra detergente neutro, FDA=fibra detergente ácido, dMS=digestibilidad *in vitro* de la materia seca, dFDN=digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro.

La dMS en *Tripogandra purpuracens* y *Echinochloa oplismenoides* fueron las más elevadas; sin embargo, considerando los niveles de inclusión, la dMS disminuyó considerablemente, en especial en la mayor inclusión de rastrojo (20/80). Aunque los valores para este parámetro siguen siendo superiores que el rastrojo de maíz. Esto sugiere que la inclusión de arvenses, aun en bajos niveles mejora la digestibilidad de la MS debido, probablemente, a una mejoría en las condiciones de fermentación por los aportes de PC y carbohidratos solubles como ya antes se mencionó.

### *Cinética de fermentación ruminal*

El ajuste de los resultados de producción de gas a la ecuación de Jessop y Herreo (1996) para este tipo de forrajes es adecuado ya que muestra la forma en la que se fermenta la fracción soluble (*a*), la fracción insoluble pero potencialmente fermentable (*b*), las tasas de fermentación de las dos fracciones (*ca* y *cb*) y el tiempo lag que es el tiempo que transcurre para que inicie la fermentación de la fibra detergente neutro. La cinética de fermentación ruminal se presenta en el cuadro 3. Las especies que tienen un aporte importante de la fracción *a* son *Tridax coronopifolia*, *Tripogandra purpuracens* y *Drymaria laxiflora*. Las inclusiones 40/60 y 20/80 son las que menos carbohidratos solubles proporcionan a la fermentación ( $p < 0.001$ ), esto se debe a que existe una mayor cantidad de FND y por tanto la disponibilidad de fracciones solubles es menor (López *et al.*, 2000). En estos tratamientos incrementó la fracción *b*; sin embargo, la baja inclusión de rastrojo de maíz aumenta la fracción *a*, lo que sugiere que la combinación con las arvenses mejora la fracción soluble (*a*). Tas *et al.* (2006) mencionan que una mayor concentración de PC está asociada con una mayor tasa fraccional de degradación, este comportamiento también se observó en los resultados presentados en este estudio en las especies *Tridax coronopifolia*, *Bidens anthemoides*, *Tripogandra purpuracens*, *Drymaria laxiflora* cuya tasa fraccional de degradación específicamente de la fracción soluble a va de 0.04 a 0.10.

Una mayor inclusión de rastrojo de maíz hace que la producción de gas se incremente en la fracción *b*, esto se debe a que existe una mayor disponibilidad de carbohidratos estructurales (Estrada-Flores *et al.*, 2006). Las especies con mayor tasa de fermentación fueron *Tripogandra purpuracens*, *Tridax coronopifolia*, y *Oxalis divergens*. Por otro lado, *cb* se afectó por el nivel de inclusión de rastrojo, dado que a mayor nivel de inclusión la tasa disminuyó de 0.04 a 0.02.

El tiempo lag por especie ( $p < 0.01$ ) presenta una variación que va desde 6.45 en *Bidens odorata* hasta 12.84 en *Tripogandra purpuracens*, lo cual indica que el inicio de la fermentación de la FDN varía hasta cinco horas de

una especie a otra. Un menor valor en la fase lag sugiere que existe un aumento en la densidad energética de la ración lo que favorece el crecimiento microbiano y la rápida colonización del sustrato (Noguera *et al.*, 2006).

**Cuadro 3.** Parámetros de la cinética de fermentación ruminal en las arvenses por especie y nivel de inclusión (arvenses/rastrojo)

Especie	<i>a</i>	<i>ca</i>	<i>b</i>	<i>cb</i>	<i>lag</i>
<i>Bidens odorata</i>	24.4	0.049	235.7	0.025	6.5
<i>Bidens anthemoides</i>	54.0	0.046	171.2	0.027	8.0
<i>Cosmos bipinnatus</i>	17.1	0.057	195.2	0.031	8.5
<i>Drymaria laxiflora</i>	48.2	0.062	177.5	0.022	9.1
<i>Echinochloa oplismenoides</i>	45.0	0.050	241.6	0.021	9.1
<i>Tridax coronopifolia</i>	64.9	0.107	147.7	0.045	9.4
<i>Tithonia tubiformis</i>	18.6	0.061	189.8	0.030	7.3
<i>Oxalis divergens</i>	35.3	0.048	203.5	0.044	7.6
<i>Tripogandra purpuracens</i>	51.3	0.054	201.2	0.045	12.8
<i>Simsia amplexicaulis</i>	28.5	0.088	223.7	0.025	7.6
EEM	12.7	0.028	23.9	0.004	1.4
Nivel de inclusión					
100/0	50.5	0.054	141.7	0.042	8.1
80/20	50.9	0.050	174	0.032	7.9
60/40	45.0	0.055	190.8	0.032	8.4
40/60	30.5	0.077	230.9	0.026	8.9
20/80	16.6	0.082	256.6	0.026	9.6
EEM	18.0	0.04	33.8	0.005	2

*a*: Producción de gas a las 4 horas de fermentación (ml gas/ g MS), *ca*: Tasa de fermentación de la fracción a, *b*: Producción potencial de gas (ml gas/ g MS), *cb*: Tasa de fermentación de la fracción b, *lag*: Fase antes de iniciar la fermentación de la FND, EEM: Error Estándar de la Media.

#### Contenido de metabolitos secundarios

Los metabolitos secundarios de mayor importancia son los taninos totales ya que éstos contienen tanto taninos condensados como hidrosolubles, que son los que provocan un efecto importante en el animal, algunas veces éste

es benéfico, como en el caso de los taninos condensados que tienen la capacidad de enlazar la proteína para que pueda ser digerida en el intestino, o los taninos hidrosolubles que tienen efecto perjudicial, específicamente en altas concentraciones, son tóxicos (Reed *et al.*, 2000).

Por otro lado, Makkar (2003) menciona que valores superiores al 4.5% y 2% en fenoles y taninos totales en forrajes tropicales, respectivamente, no producen efectos negativos significantes en los rumiantes. Como se muestra en el Cuadro 4, las especies con mayor contenido de taninos totales también son las que tienen mayor producción de gas con un mayor valor principalmente en la fracción *a*. Los elevados valores de este parámetro se encuentran relacionados con una mayor proporción de nutrientes solubles y la aceptable fracción fibrosa de la biomasa (Pinto *et al.*, 2002).

El contenido de fenoles totales en las especies de arvenses no representa peligro para el ganado, más bien pueden representar una fuente natural de antioxidantes (Gutiérrez *et al.*, 2008). Por otro lado, la mayor parte de los estudios sobre metabolitos secundarios están enfocados a especies de climas tropicales o subtropicales; es importante marcar que estas especies son arvenses de valles altos y que existe poca información en cuanto al contenido de estos parámetros.

No obstante, Makkar (2003) realizó el estudio de diversas especies de malezas en las cuales se observaron bajos niveles de taninos totales, específicamente éstos van de 0.4 - 3.8%; para este caso especies como *Drymaria laxiflora*, *Thithonia tubiformis*, *Oxalis divergens*, *Tripogandra purpuracens* y *Simsia amplexicaulis* son las que tienen valores que se encuentran en los rangos descritos por este autor y en el que concluye que valores bajos de taninos pueden ser benéficos para los rumiantes, ya que los taninos protegen la proteína de la dieta de la degradación del rumen, y por lo tanto incrementan la proteína sin degradar a nivel ruminal, por lo que se destaca una mayor suplementación de aminoácidos de origen alimenticio a nivel postruminal en el animal, y una mayor absorción de éstos como proteína digestible en el intestino (Makkar *et al.*, 1995).

**Cuadro 4.** Contenido de metabolitos secundarios en las arvenses

Especie	Taninos no fenólicos (%)	Fenoles Totales (%)	Taninos Totales (%)
<i>Bidens odorata</i>	0.25	5.02	4.77
<i>Bidesn anthemoides</i>	0.24	7.75	7.5
<i>Cosmos bipinnatus</i>	0.26	7.04	6.77
<i>Drymaria laxiflora</i>	0.16	2.89	2.27
<i>Echinochloa oplismenoides</i>	0.16	5.92	5.72
<i>Tridax coronopifolia</i>	0.18	8.6	8.42
<i>Tithonia tubiformis</i>	0.26	3.59	3.32
<i>Oxalis divergens</i>	0.29	3.61	3.31
<i>Tripogandra purpuracens</i>	0.16	2.24	2.07
<i>Simsia amplexicaulis</i>	0.13	1.7	1.56
EEM	0.02	1.3	1.3

### **Cambio climático y efecto invernadero**

El cambio climático es un problema con características únicas, ya que es de naturaleza global, sus impactos mayores serán en el largo plazo e involucra interacciones complejas entre procesos naturales (fenómenos ecológicos y climáticos) y procesos sociales, económicos y políticos a escala mundial. El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. A diferencia del concepto tradicional de clima, como el promedio de alguna variable, hoy en día se piensa en éste como un estado cambiante de la atmósfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio. Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura sale de su valor medio de muchos años, se habla de una anomalía climática ocasionada por forzamientos internos, como inestabilidades de la atmosfera y/o el océano; o por forzamientos externos, como puede ser algún cambio en la intensidad de la radiación solar recibida o incluso cambios en las características del planeta (concentración de gases de efecto invernadero, cambios en el uso de suelo, etc.) resultado de la actividad humana (Martínez *et al.*, 2004). El efecto invernadero es un fenómeno natural, pero la alusión frecuente a



él en relación con el calentamiento global hace creer a algunos que es en sí indeseable, y una consecuencia reciente de la contaminación atmosférica. Hay que aclarar que el calentamiento no es atribuido a la simple existencia, sino al aumento del efecto invernadero por encima de sus valores anteriores (Graedel y Crutzen, 1993).

La temperatura del planeta ha venido elevándose desde mediados del siglo XIX, cuando se puso fin a la etapa conocida como la pequeña edad de hielo. Predicciones basadas en diferentes modelos del incremento de la temperatura media global respecto de su valor en el año 2000. Cualquier tipo de cambio climático además implica cambios en otras variables. La teoría antropogénica predice que el calentamiento global continuará si lo hacen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El cuerpo de la ONU encargado del análisis de los datos científicos es el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés de Inter-Governmental Panel on Climate Change). El IPCC indica que “La mayoría de los aumentos observados en las temperaturas medias del planeta desde la mitad del siglo XX son muy probablemente debidos al aumento observado en las concentraciones de GEI antropogénicas” (Cambio Climático, 2007).

Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de una atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar. Este efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido a la actividad económica humana. La Tierra, como todo cuerpo caliente, emite radiación, pero al ser su temperatura mucho menor que la solar, emite radiación infrarroja de una longitud de onda mucho más larga que la que recibe. Sin embargo, no toda esta radiación vuelve al espacio, ya que los gases de efecto invernadero absorben la mayor parte. La atmósfera transfiere la energía así recibida tanto hacia el espacio (37,5%) como hacia la superficie de la Tierra (62,5%). Ello representa  $324 \text{ W/m}^2$ , casi la misma cantidad de energía que la proveniente del Sol. De este modo, el equilibrio térmico se establece a una temperatura superior a la que se obtendría sin este efecto.

La importancia de los efectos de absorción y emisión de radiación en la atmósfera son fundamentales para el desarrollo de la vida tal y como se conoce. De hecho, si no existiera este efecto la temperatura media de la superficie de la Tierra sería de unos  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y gracias al efecto invernadero es de aproximadamente  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En zonas de la Tierra cuya atmósfera tiene poca proporción de gases de efecto invernadero (especialmente de vapor de agua), como en los grandes desiertos, las fluctuaciones de temperatura entre el día (absorción de radiación solar) y la noche (emisión hacia el cielo nocturno) son muy grandes. Desde hace unos años el hombre está produciendo un aumento de los gases de efecto invernadero, con lo que la atmósfera retiene más calor y devuelve a la Tierra aún más energía causando un desequilibrio del balance radiactivo y un calentamiento global (Semarnat, 2006).

### **Gases de efecto invernadero**

Se denominan gases de efecto invernadero (GEI) a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuye al efecto invernadero. Los más importantes están presentes en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana, pero también entran en este concepto algunos gases artificiales, producto de la industria. La frecuencia con que se menciona el  $\text{CO}_2$  en relación con el efecto invernadero, hace que muchos ignoren que el principal gas de invernadero en la atmósfera terrestre es el agua (en estado de vapor). Los gases de efecto invernadero, ordenados por un efecto decreciente, son: vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ) y clorofluorocarburos (artificiales). No todos los componentes de la atmósfera contribuyen al efecto invernadero. Los gases de invernadero absorben los fotones infrarrojos emitidos por el suelo calentado por el sol. La energía de esos fotones no basta para causar reacciones químicas — para romper enlaces covalentes — sino que simplemente aumenta la energía de rotación y de vibración de las moléculas implicadas. El exceso de energía es a continuación transferido a otras moléculas, por las colisiones moleculares, en

forma de energía cinética, es decir, de calor, aumentando la temperatura del aire. De la misma forma, la atmósfera se enfría emitiendo energía infrarroja cuando se producen las correspondientes transiciones de estado vibracional y rotacional en las moléculas hacia niveles menores de energía. Todas esas transiciones requieren cambios en el momento dipolar de las moléculas (es decir, modificaciones de la separación de cargas eléctricas en sus enlaces polares) lo que deja fuera de este papel a los dos gases principales en la composición del aire, nitrógeno ( $N_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ), cuyas moléculas, por estar formadas por dos átomos iguales, carecen de cualquier momento dipolar.

Si bien todos los gases mencionados anteriormente —salvo los compuestos del flúor— son naturales, en tanto que existen en la atmósfera desde antes de la aparición del hombre, a partir de la Revolución Industrial, y debido principalmente al uso intensivo de combustibles fósiles en las actividades industriales y el transporte, se han producido sensibles incrementos en las cantidades de óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono emitidas a la atmósfera. Se estima que también el metano está aumentando su presencia por razones antropogénicas (debidas a la actividad humana). Además, a este incremento de emisiones se suman otros problemas, como la deforestación, que ha reducido la cantidad de dióxido de carbono retenido en materia orgánica, contribuyendo así indirectamente al aumento antropogénico del efecto invernadero (Graedel y Crutzen, 1993).

Los gases de efecto invernadero tienen diferente capacidad de calentamiento global, basada en su impacto radiactivo y su duración en la atmósfera. El gas de referencia tomado como unidad es el  $CO_2$  y el potencial de calentamiento global se expresa en millones de toneladas de carbono equivalente (MTCE). Dado que el dióxido de carbono contiene una fracción de 12/44 de carbono en su peso, los teragramos (Tg) de un gas deben ser convertidos según la siguiente fórmula:  $MTCE = Tg \text{ de gas} \times PCG \times 12/44$ , donde MTCE equivalen a millones de toneladas de carbono equivalente y PCG significa Potencial de calentamiento global de un gas. El potencial de calentamiento global de los principales gases de efecto invernadero es:

dióxido de carbono con un potencial de 1, metano con un potencial de 21 y los óxidos nitrosos de 310 (IPCC, 1996).

### **Actividades agropecuarias y sus contribuciones al efecto invernadero**

En las últimas décadas ha habido una importante intensificación de la agricultura en todo el mundo, ahora mismo, los campos de producción son tan grandes y la producción es tan alta que es difícil imaginar una agricultura sin máquinas y sin pesticidas.

La agricultura intensiva moderna necesita un aporte de energía mucho mayor que el que necesitaba la agricultura tradicional, esto se debe a que se apoya mucho en el uso de maquinaria para casi todas las operaciones (el arado, cosechado, transporte del grano o el uso de pesticidas). No solo el uso de combustibles fósiles emite gases de efecto invernadero a la atmósfera. El arado intensivo de los suelos agrícolas y la deforestación son métodos muy efectivos para aumentar esas emisiones. Los bosques y los suelos son importantes sumideros de  $\text{CO}_2$ , se llaman así porque son capaces de almacenar grandes cantidades de este gas que son emitidas desde otras fuentes. En los bosques la vegetación necesita  $\text{CO}_2$  para crecer (a través de la fotosíntesis), este  $\text{CO}_2$  queda almacenado en sus estructuras, además los bosques mantienen un nivel de humedad en el ambiente bastante alto y esto también ayuda en la función de almacenaje. El suelo también es un importante sumidero, ya que mantiene una cantidad enorme de materia orgánica (formada por Carbono principalmente). El arado intensivo y agresivo de las tierras de cultivo libera este carbono en forma de  $\text{CO}_2$  muy rápido. Cuando se remueve el suelo se permite la entrada de Oxígeno que reacciona con el Carbono de los restos de plantas y animales y se libera mucho  $\text{CO}_2$ . Otro gas de efecto invernadero es el óxido nitroso, éste se produce a partir de diferentes fuentes desde el suelo, el agua o los residuos agrícolas. Durante los dos últimos siglos, las actividades humanas han aumentado la producción de  $\text{N}_2\text{O}$  en un 13%. Las principales fuentes de emisión son la quema de combustibles fósiles, como para el  $\text{CO}_2$ , el manejo de los suelos agrícolas, fuentes industriales y el uso de fertilizantes que contengan  $\text{N}_2$ ,

que además produce efectos secundarios sobre la salud humana y de los ecosistemas. Las principales fuentes de  $\text{CH}_4$  son: el ganado rumiante y el cultivo del arroz (Moneo, 2004).

El gas con mayor emisión proveniente de la ganadería es el metano y se genera por fermentación entérica. La producción de metano es parte de los procesos digestivos normales de los animales, durante la digestión, los microorganismos presentes en el aparato digestivo fermentan el alimento consumido por el animal. Este proceso conocido como fermentación entérica, produce metano como un subproducto, que puede ser exhalado o eructado por el animal. Entre las especies ganaderas, los rumiantes (bovinos, ovinos, caprinos, búfalos, camélidos) son los principales emisores de metano. En los animales no rumiantes (porcinos, equinos, mulares, asnales) la fermentación microbiana ocurre en el intestino grueso, que tiene una capacidad de producción de metano mucho menor que el rumen. Debido a que esta producción es el resultado de procesos digestivos, la cantidad emitida varía con el tipo de animal, con la naturaleza, cantidad y digestibilidad del alimento consumido y con el nivel de producción.

En este mismo rubro el manejo del estiércol del ganado produce emisiones de metano y de óxido nitroso. El metano se produce mediante la descomposición anaeróbica del estiércol, mientras que el óxido nitroso se forma como parte del ciclo del nitrógeno, a través de la desnitrificación del nitrógeno orgánico presente en el estiércol y en la orina del ganado. Cuando el estiércol se dispone en sistemas que promueven las condiciones anaeróbicas (por ejemplo, en forma líquida en lagunas, tanques o fosas), la descomposición de la materia tiende a producir metano. Cuando el estiércol se maneja en forma sólida (por ejemplo, almacenamiento en pilas) o queda depositado sobre las pasturas y los campos naturales, tiende a descomponerse aeróbicamente y produce muy poco o nada de metano; la temperatura y la humedad influyen en el desarrollo de las bacterias responsables de su formación (Berra y Finster, 2003). Las emisiones de metano producidas por las heces en los diferentes grupos de herbívoros se presentan en el cuadro 5 (Hackstein y Van Alen, 1996). Los animales que

tienen emisiones promedio de 3 nmol/g/h se consideran como no productores de metano (Klieve y Ouwerkerk, 2007). En este se observa que el grupo que presenta la mayor contribución son las cabras.

**Cuadro 5.** Comparación de emisiones de metano de herbívoros. Las emisiones se expresan como nmol de metano por gramo de heces frescas por hora (en un periodo de 72 horas)

Herbívoros	Promedio de metano en nmol/g/h
Avestruz	315
Emú	0.7
Canguro rojo	275
Panda	0.2
Elefante africano	41
Caballos domésticos	118
Camellos	121
Alpacas	82
Ciervo	423
Cabras domésticas	4230

En México la categoría de agricultura está compuesta principalmente por las emisiones provenientes de actividades agrícolas (cultivos y manejo de suelos) y pecuarias (fermentación entérica y manejo de estiércol). Sus principales gases son CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. Esta categoría se estimó con la actualización de los factores de emisión, y los datos de actividad o datos censales de los rubros comprendidos en las actividades agrícolas y pecuarias. Para el periodo 1990–2002, las emisiones promedio de CH<sub>4</sub> representan 84% de la categoría y las de N<sub>2</sub>O el 16% restante (Semarnat, 2006). Como ya se mencionó, entre las especies ganaderas, los rumiantes (bovinos, ovinos, caprinos, etc.,) son los principales emisores de metano, es por ellos que vale la pena tomar en cuenta cuales son los factores que afectan la emisión de dicho gas. Las mayores cantidades de metano se generan en el rumen y se emiten oralmente (Kempton *et al.*, 1976) Los borregos alimentados con una dieta promedio, producen aproximadamente 20 LCH<sub>4</sub>/d, y las novillas producen ocho veces esta cantidad (Kurihara *et al.*, 1977) o 160 L/d. Las

emisiones de metano son altamente variables y responden a la calidad del alimento consumido. En Australia, por ejemplo, de los 3000 gigagramos estimados de metano que se liberan al año (1988-, 1996) de la ganadería, el ganado lechero, el ganado de carne y las borregas son responsables de 300, 1900 y 800 Gg respectivamente (NGGIC, 1997; Howden y Reyenga, 1999).

### **Evaluación *in vitro* de taninos condensados (TC) como controladores del crecimiento microbiano y reductores de las emisiones de metano y bióxido de carbono en el proceso digestivo de los animales rumiantes**

La actividad *in vitro* de los TC se evaluó mediante el método de diluciones seriadas decimales en medio de cultivo, determinando los porcentajes de inhibición de crecimiento de la microflora ruminal causado por cada concentración de TC, y finalmente se determinó la concentración mínima inhibitoria (CMI). La CMI se define como la mínima concentración de ingrediente activo que inhibe el crecimiento visible de microorganismos después de 24 h de incubación a la temperatura óptima de crecimiento (Andrews, 2001).

El inóculo empleado fue líquido ruminal de una vaca fistulada de raza Limousin, alimentada *Ad libitum* con una dieta a base de 83% forraje y 17% concentrado, esto fue: 4.400 kg de heno de alfalfa, 6 kg de paja de avena, 1.600 kg de maíz molido y 400 g de concentrado de soya. El líquido ruminal fue colectado manualmente del rumen y pasado a través de dos capas de manta de cielo, posteriormente se almacenó en termos gaseados con CO<sub>2</sub> hasta su uso, el líquido ruminal fue de 1X10<sup>9</sup> ufc/ml y un pH de 6.6.

La CMI fue realizada utilizando TC de quebracho (*Schinopsis lorentzii*) (MGM-C, UNITAN, Buenos Aires, Argentina) y como control positivo aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens*) (Agroindustrial Don Pablo, Chihuahua, México), con una concentración de 85.5% carvacrol / timol (fenoles antibacterianos). Las concentraciones (tratamientos) que se utilizaron de TC, fueron 1, 2, 3, 4 y 5%. Para el aceite de orégano, las concentraciones fueron de 100 ppm hasta 900 ppm, se realizó un barrido más fino bajando a 50 ppm el intervalo de concentración.

El método consistió para cada tratamiento, en agregar medio de cultivo líquido (Solución salina peptonada; mezcla de 10 g de peptona y 5 g de cloruro de sodio en un litro de agua destilada) (NMX-F-308-1992), líquido ruminal (2 ml; 1X10<sup>9</sup> ufc/ml) y la concentración de TC correspondiente, todo esto se incubó en tubos de ensaye en condiciones anaerobias, durante 24 h a 39 °C, cada tratamiento se realizó por triplicado. Una vez terminado el tiempo de incubación se realizó la técnica de diluciones seriadas decimales de los cinco tratamientos, el método consistió en tomar 1 ml de cada uno de los tratamientos diluyéndolo en 9 ml de solución salina peptonada, de esta dilución se repitió la técnica cinco veces más, hasta tener una última dilución con una densidad bacteriana teórica de 1X10<sup>3</sup> ufc/ml.

De las dos últimas diluciones de cada tratamiento (1X10<sup>4</sup> y 1X10<sup>3</sup> ufc/ml) se tomaron 100 µl y fueron sembrados por extensión en medio de cultivo agar triptona soja (TSA) en cajas petri. Las placas se incubaron por espacio de 24 ± 2 horas a 37 °C en condiciones anaerobias, transcurrido el periodo de incubación, se realizó el conteo del posible crecimiento de las colonias bacterianas aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Valor de inhibición (\%)} = \frac{\text{Número de colonias del control} - \text{Número de colonias del tratamiento}}{\text{Número de colonias del control}}$$

El método fue el mismo para el aceite de orégano como control positivo. Los resultados de las pruebas se expresaron como porcentajes de inhibición y fueron analizados en el programa SigmaPlot versión 11.0.

#### *Evaluación in vitro de taninos condensados*

Los perfiles de inhibición de crecimiento *versus* concentración de inhibidor, se ajustaron a una ecuación sigmoidea de tres parámetros, para el caso de los TC el ajuste de la curva presento una  $r = 0.9763$ , mientras que para el aceite de orégano la  $r = 0.9809$ .

La CMI para los TC se obtuvo a 3% de concentración (30 g de TC/kg de MS), (Fig. 3), demostrándose así, que estos compuestos tienen un efec-



to directo en los microorganismos ruminales. Los perfiles de inhibición mostrados en la figura, podrían sugerir que a dosis del 2%, los TC aún no causan un efecto bactericida en los microorganismos ruminales, más bien provocan una disminución aproximada del 50% en su ritmo de crecimiento y reproducción y por tanto en su actividad fermentativa. Concentraciones del 1% no tuvieron un efecto significativo sobre los microorganismos ruminales. Cabe destacar que diversas investigaciones sostienen que a nivel de rumen, el ganado puede tolerar concentraciones de hasta 50 g de TC/kg de MS contenidos en el forraje; sin embargo, el efecto de agregar TC puros como se realizó en este experimento, directamente en medio ruminal, puede ser mucho mayor o muy diferente que en condiciones *in vivo*.

Los resultados encontrados en este estudio son similares a los encontrados por Salem y Gohar (2007), evaluando dosis de .63, 1.25, 2.50, 5.00 y 10.00 mg de ácido tánico (AT), en diferentes bacterias ruminales aisladas, observando un incremento en la sensibilidad de todas las bacterias en la medida que se incrementaba la concentración de AT. Así también, Tavendale *et al.* (2005) utilizando una fracción del extracto completo de *Lotus pedunculatus* a una concentración final de 25 mg/ml en cepas metanogénicas de *Mbb Ruminantium* en medios de cultivo sólido, se observó una inhibición completa manteniéndose incluso después de una semana de incubación. Según estos autores señalan que las diferencias en los efectos están relacionadas con la fuente, la cantidad, la disponibilidad y muy probablemente el estado fisiológico del rumiante.

En los tratamientos con el control positivo (aceite de orégano) se realizó una primera serie de experimentos con concentraciones de 100 hasta 900 ppm, observando algunos efectos en concentraciones que iban desde 400 hasta 700 ppm, por lo que se realizó un barrido más fino bajando a 50 ppm el intervalo de concentración a partir de 400 ppm. Se pudo observar que la CMI después de 24 h de inhibición, se alcanzó a una concentración de 550 ppm de aceite de orégano (Figura 4). Similares resultados se encontraron en un estudio dosis-respuesta *in vitro*, realizado por Castillejos-Velázquez (2005) observando que 50 mg/L de timol no tenían efectos sobre la fermentación

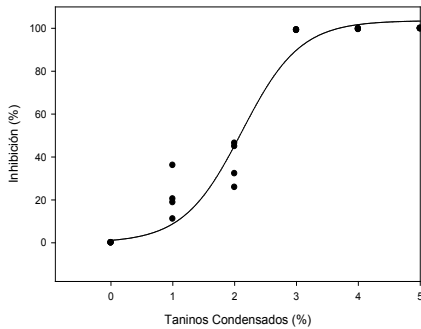


Figura 3. Inhibición de microorganismos con taninos condensados

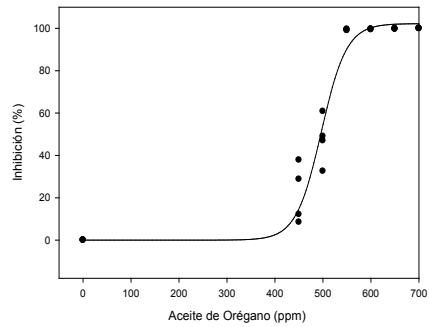


Figura 4. Inhibición de microorganismos con aceite de orégano

ruminal, pero que a 500 mg/L los efectos eran tóxicos para los microorganismos ruminales.

Como ya se mencionó, la CMI se logró a 550 ppm; sin embargo, en un barrido menor de 50 ppm la inhibición se redujo drásticamente hasta en 50% y a concentraciones de 450 ppm el crecimiento de microorganismos después de 24 h de incubación fue no mayor al 30%. En general, estos resultados concuerdan con lo encontrado por Evans y Martin (2000) quienes observaron que el timol afectaba el metabolismo de *Streptococcus bovis* y *Selenomonas ruminantium*, reduciendo la concentración de metano y lactato a dosis de 180 µg/ml resultando en una inhibición de la fermentación ruminal y la digestión de nutrientes.

Se pudo observar en este experimento (Figuras 3 y 4), que los TC se comportaron de manera similar al control positivo, el cual es un bactericida ya probado en diversos estudios. Se ratifica entonces que los TC como polifenoles demuestran propiedades antibacterianas. Cabe señalar que las concentraciones mínimas inhibitorias de TC y el aceite de orégano causantes de inhibición, fueron probadas como niveles de inclusión en una dieta en fermentación ruminal *in vitro*, con la finalidad de establecer si existiera una similitud en los resultados antes mencionados y los que se pudieran dar en esta fermentación. Los niveles de inclusión son: un nivel bajo (-1), nivel medio (0), nivel alto de inclusión (1), para el caso de los TC las concentraciones son 1% (-1), 2% (0), 3% (1), para el aceite de orégano son 450 ppm (-1), 500 ppm (0), 550 ppm (1).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La calidad nutritiva de las especies evaluadas indica que en términos generales son especies con una calidad intermedia. En el caso específico del contenido de proteína muestra que son una fuente importante para los rumiantes y *Oxalis divergens* es la especie que presenta un mayor contenido de PC y digestibilidad de la FND, además de que es la especie más abundante en los terrenos de cultivo. Existe en México una gran diversidad de especies nativas que pueden utilizarse para la alimentación del ganado lechero, sus contenidos de metabolitos secundarios pueden ayudar en gran medida a mejorar la fermentación ruminal por lo que su evaluación representa un reto importante en futuras investigaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Autónoma del Estado de México el financiamiento otorgado para la realización de esta investigación, a través del proyecto de investigación 2422/2007U “Determinación de las eficiencias de fermentación ruminal en arvenses y rastrojos de maíz utilizados para la alimentación del ganado lechero en el valle de Toluca”. Así también, a los productores de maíz del valle de Toluca que colaboraron en este proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrews M.J. (2001). “Determination of minimum inhibitory concentrations”. *J. of Antimicrobial Chemotherapy*, 48, Suppl. S1: 5-16.
- Arriaga-Jordán C., Espinoza-Ortega A., Castelán-Ortega O.A., Rojo G.H., Valdés M.J.L., Albarrán-Portillo B. (1997). “Resultados de investigación participativa rural en el mejoramiento de sistemas de producción de leche en pequeña escala en el Estado de México”. En: *Investigación para el desarrollo rural. Diez años de experiencia del CICA. Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias X aniversario*. Universidad Autónoma del Estado de México.

- Berra G., Finster L. (2003). *Emisión de gases de efecto invernadero. Influencia de la ganadería argentina*. Instituto de Patobiología, INTA Castelar, pp. 213-214.
- Burel F., Braudry J. (2002). *Ecología del paisaje. Conceptos Métodos y aplicaciones*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 39-285.
- Cambio Climático (2007). Informe de Síntesis - Resumen para Responsables de Políticas - Traducción del Ministerio de Medio Ambiente de España, p. 6. <http://www.cambioclimatico.org/?q=node/18>. Consultado el 20-10-2008.
- Castelán-Ortega O.A. (1999). *A decision support system for campesina maize-cattle production systems of the Toluca Valley in Centro Mexico. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy*. Institute of Ecology and Resource Management. University of Edinburgh.
- Castelán O., Estrada J., Carretero L., Vieyra A., Martínez N., Cárdenas S., Arriaga C., Mould F. (2003). Degradation characteristics of maize weeds, used as forage in smallholder maize-livestock production systems of central Mexico, in different growing periods. *Trop. and Subtrop Agroecosystems*, 3: 115-119.
- Castillejos-Velazquez L. (2005). *Modificación de la fermentación microbiana ruminal mediante compuestos de aceites esenciales*. Tesis de Doctorado. Universitat Autònoma de Barcelona. España.
- Estrada-Flores J.G. (2005). Caracterización nutricional de maíz y arvenses utilizados en la alimentación del ganado en sistemas campesinos en dos zonas contrastantes del Estado de México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Estrada-Flores J.G., González-Ronquillo M., Mould F., Arriaga-Jordán C.M., Castelán-Ortega O.A. (2006). "Chemical composition and fermentation characteristics of grain and different parts of the stover from maize land races harvested at different growing periods in two zones of Central Mexico". *Anim. Sci.*, 82:1-9.
- Estrada-Flores J., Castelán-Ortega O.A., Arriaga-Jordán C.M. (2009). "La evaluación de forrajes como una herramienta para el mejoramiento de la alimentación del ganado lechero en sistemas campesinos en dos zonas contrastantes del Estado de México". En: *Acercamientos conceptuales y metodológicos para el estudio de la realidad agropecuaria y rural de México*. B. G. Reyes-Reyes (ed). Universidad Autónoma del Estado de México. p.171-196.
- Erman M., Tepe I., Yazlik A., Levent R., Ipek K. (2004). "Effect of weed control treatments on weeds, seed yield, yield components and nodulation in winter lentil". *Weed Research*, 44:305-312.

- Espinosa-García F.J. (1997). *Manual de malezas del valle de México*. Instituto de Ecología UNAM. Fondo de Cultura.
- Evans J.D., Martin S.A. (2000). "Effects of thymol on ruminal microorganism". *Curr. Microbiol.* 41: 336-340.
- Calzada D.M. (1996). *El paisaje en el mundo*. Zingiberidae Oxford University. pp. 25-49.
- Fisher D., Burns J.C., Moore, J.E. (1995). "The nutritive evaluation of Forage". In: *Forage. An Introduction to Grassland Agriculture*. Barnes, R. F., Miller, D.A. y Nelson, C. J.(eds). Vol. I. Ed. IOWA. State University Press Ames. USA.
- García S.M., Cañizares A., Salcedo F., Guillén L. (2000). "Un aporte a la determinación del periodo crítico de interferencia de malezas en cafetales del estado Monagas". *Bioagro.*, 12(3): 63-70.
- González J.A., Amo R.S. (1999). *Agricultura y sociedad en México: diversidad, enfoque, estudios de caso*. Ed. Plaza y Valdes. México. pp. 189-209.
- González L.G., Espinosa S.E.A., Gómez R.S. (1997). Desarrollo de la capacidad productiva de productores de bajos ingresos y de producción lechera en pequeña escala en comunidades rurales y urbano populares. En: *Memorias del Seminario-Taller Nacional en Sistemas de Producción de Leche en pequeña escala*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Graedel T.E., Crutzen P.J. (1993). *Atmospheric change*. An Earth System perspective. Freeman, N. York
- Gutiérrez D., Mendoza S., Serrano V., Bah M., Pelz R., Balderas P., León, F. (2008). "Proximate composition, mineral content, and antioxidant properties of 14 Mexican weeds used as fodder". *Weed Biol. Management.*, 8:291-296.
- Hackstein J.H.P., Van Alen T.A. (1996). "Fecal methanogens and vertebrate evolution". *Evolution.*,50:559-572.
- Howden S.M., Reyenga P.J. (1999). "Methane emissions from Australian Livestock". En *Meeting the Kyoto Target, Implications for the Australian Livestock Industries*, Reyenga, PJ and Howden, SM: 71-79.
- IPCC (1996): *Climate change 1995: The science of climate change* (eds.) Houghton J. T., Meira Filho L. G., Callander B. A., Harris M., Kattenburg A. and Maskell K. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 572 pp.
- Jessop N.S., Herrero M. (1996). "Influence of soluble components on parameter estimation using the in vitro gas production technique". *Anim. Sci.*,62:626-627.

- Juan P.J.I., Madrigal U.D. (2004). "Huertos, diversidad y alimentación en una zona de transición ecológica del Estado de México". *Ciencia Ergo Sum*. 12(1): 54-63.
- Kempton T.J., Murray R.M., Leng R.A. (1976). "Methane production and digestibility measurements in grey kangaroo and sheep". *Australian Journal of Biological Science*, 29:209-214.
- Klieve A.V., Ouwerkerk. (2007). Comparative greenhouse gas emissions from herbivores. En: *Herbivore Nutrition for the Development of Efficient, Safe and Sustainable Livestock Production*. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on the Nutrition of Herbivores. Q. X. Meng, Ren, L. P. and Cao Z. J. China Agricultural University Press. China. pp. 487-500.
- Kurihara M., Shibata M., Nishida T., Purnomoadi A., Terada F. (1997). Methane production and its dietary manipulation in ruminants in Rumen Microbes and digestive physiology in ruminants. Onodera R., Itabashi H., Ushida K., Yano H and Sasaki Y. 199-208 Tokyo: Japan Scientific Societies Press.
- Larney F.J., Blackshaw R.E. (2003). "Weed seed viability in composted beef cattle feedlot manure". *J. of Environmental Quality*, 32:1105-1113.
- López S., Dijkstra J., France J. (2000). "Prediction of Energy Supply in Ruminants, with Emphasis on Forages". In: *Forages Evaluation in Ruminant Nutrition*. Givens, D. I., Owen, E., Axford, R. F. E., Omed, H. M. (eds.). CAB International, Uk. pp. 63-94.
- Makkar H.P.S. (2003). Chemical, protein precipitation and bioassays for tannins, tannin levels and activity in unconventional feeds, and effects and fate of tannins. Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 1-42.
- Makkar H.P.S., Blümmel M., Becker K. (1995). "In vitro effects and interactions of tannins and saponins and fate of tannin in rumen". *J.Sci. Food Agric.*, 69: 481-493.
- Marshall E.J.P., Brown V., Boatman N.D., Lutman P.J.W., Squire R.G., Ward L.K. (2003). "The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields". *Weed Res.*, 43: 77-89.
- Martínez J.F., Fernández B.A., Osnaya P. (2004). *Cambio climático: Una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología. 525 pp.
- Mauricio M., Mould F., Dhanoa L., Owen E., Kulwuant S.C., Theodorou M. (1999). "A semi-automated in vitro gas production technique for ruminant feedstuff evaluation". *Ani. Feed Sci. and Tech.*, 79: 321-330.
- McCaughy W., Wittenberg K., Corrigan D. (1999). "Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows". *Can J An Sci.*, 79 (2): 221-226.

- Menke K.H., Steingass H. (1988). "Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analyses and in vitro gas production using rumen fluid". *Anim. Res. and Develop.*, 28: 7-55.
- Moneo M. (2004). Contribución de la agricultura a los gases de efecto invernadero. Clima y alimentos. Environmental Science Published for Everybody Round the Earth. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Muslera D.E., Ratera G.C. (1991). *Praderas y forrajes, producción y aprovechamiento*, 2ª ed. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 23-443
- Nava B.E.G. (1995). Importancia de las arvenses en los sistemas de producción campesina en dos zonas del municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo, México.
- NGGIC (1997). National Greenhouse Gas Inventory 1995 with Methodology Supplement: *Environment Australia*: Canberra.
- Niderkorn V., Baumont R. (2009). "Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants". *Anim. Sci.*, 3:951-950.
- NMX-F-308-1992. Alimentos - cuenta de organismos coliformes fecales. foods - fecals coliform organisms count. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- Noguera R.R., Ramírez C.I., Bolivar M.D. (2006). "Efecto de la inclusión de papa (*Solanum tuberosum*) en la cinética de fermentación *in vitro* del pasto kiku-yo (*Pennisetum clandestinum*)". *Livest. Res. for Rural Develop.*, 18:1-13.
- Pell A., Schofield P. (1993). "Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*". *J. of Dairy Sci.*, 76: 1063-1073.
- Pinto R., Ramírez L., Kú-Vera J.C., Ortega L. (2002). "Especies arbóreas y herbáceas forrajeras del sureste de México". *Pastos y Forrajes*, 25: 171-180.
- Reed J.D., Krueger C., Rodríguez G., Hanson J. (2000). "Secondary plant compounds and forage evaluation". In: *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. Givens D.I., Owen E., Axford R.F.E., Omed H. M. (eds.). CAB International, Uk. pp. 433-448.
- Salem A.Z.M., Gohar Y.M. (2007). "Ruminal bacteria isolate responses to tannic acid in northern egyptian sheep, cattle and buffalo. Egyptian". *J. Nutrition and Feeds*, 10 (1): 37-51.
- Semarnat (2006). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ine, México, Instituto Nacional de Ecología (México). Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero, 1990-2002. Instituto Nacional de Ecología.

- Tas B.M., Tameel H.Z., Smit H.J., Elgerma A., Dijkstra J. y Tamminga S. (2006). "Rumen degradation characteristics of perennial ryegrass cultivars during the growing season". *J. Anim. Sci.*, 131:102-119.
- Tavendale M.H., Meagher L.P., Pacheco D., Walker N., Attwood G.T., Sivakumaran S. (2005). "Methane production from *in vitro* rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis". *Anim. Feed Sci. and Tech.*, 123-124: 403-419.
- Theodorou M.K., Williams B.A., Dhanoa M.S. y McAllan A.D.B y France J. (1994). "A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds". *Anim. Feed Sci. and Tech.*, 48: 185-197.
- Vieyra-Odilon L. y Vibrans H. (2001). "Weeds as crops: The value of maize field weeds in the valley of Toluca, Mexico". *Econ. Botany*, 55:426-443.
- <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/oxalidaceae/oxalis-divergens/fichas/ficha.htm>



**AVANCES EN NUTRICIÓN  
Y ALIMENTACIÓN**



## USO DE ESPECIES LEÑOSAS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

*L. Ramírez Avilés, J.C. Ku Vera, F.J. Solorio Sánchez,  
C.A. Sandoval Castro, A.J. Ayala Burgos*

RESUMEN Las especies arbóreas tienen un potencial para mejorar la productividad de los sistemas de producción animal. Particularmente, en las regiones tropicales, en donde la calidad de la ración basal de gramíneas forrajeras es baja, lo cual limita la productividad al restringirse su consumo y tasa de digestión ruminal. En el presente trabajo se presentan los análisis químicos de una amplia variedad de especies forrajeras de la región sur de México, entre las que destacan *Gliricidia spp.*, *Leucaena leucocephala* y *Erythrina indica*, con concentraciones de 21.2, 26.6, 21.3% de proteína cruda (PC), respectivamente. Un efecto importante de la calidad del follaje arbóreo es el incremento en el consumo y digestibilidad de la dieta de baja calidad, como consecuencia del incremento en los niveles de nitrógeno ( $\text{NH}_3$ ) en el rumen. Esta mejora resulta en incrementos en el comportamiento animal, como se ha encontrado con la inclusión de *Cratylia argentea* con la cual se ha logrado reducir el uso de concentrados en ganado bovino sin reducción en el rendimiento de leche. También, la suplementación de 1.2 kg de MS de *L. leucocephala*, durante la época seca, en ganado bovino de doble propósito resultó en incrementos de 45 y 80% de la producción de leche y la ganancia de peso, respectivamente, en dietas de baja calidad. Esta mejora se asocia con el aumento en el aporte de proteína microbiana y la mayor cantidad de aminoácidos absorbidos desde el intestino delgado. El nivel de mejora del consumo y la digestibilidad de la dieta base con el

Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Carretera Mérida - Xmatkuil km 15.5, CP 97100, Mérida, México. e-mail: raviles@uady.mx

follaje arbóreo depende de calidad de la misma. Dicha mejora tiende a ser menor a medida que el contenido de PC de la dieta base se incrementa; se ha reportado que, a un nivel arriba del 10% de PC de la dieta base no se encontró mejora con la inclusión del follaje arbóreo. La incorporación de la vaina entera molida de *Enterolobium cyclocarpum* en el sureste mexicano ha demostrado su buen valor nutritivo para la producción de ovinos. La adición de fuentes energéticas en dietas basadas en forrajes tropicales suplementadas con follajes arbóreos promueve una mayor tasa de digestión ruminal, un incremento en la producción de ácidos grasos volátiles y un mayor aporte de proteína microbiana al duodeno. En conclusión, las especies arbóreas tienen un potencial debido a su elevado contenido de nutrientes, que resulta en una mejora del consumo y la digestibilidad de la dieta base y, en consecuencia, al incremento en el comportamiento animal, particularmente en dietas de baja calidad. La suplementación con fuentes energéticas podría permitir alcanzar dicho potencial.

Palabras clave: arbóreas, consumo, digestión ruminal, silvopastoril, suplementación energética

**SUMMARY** Tree species have the potential to improve productivity of livestock production systems. Particularly, in tropical regions where quality of grasses, the basal diet, is low which limits intake and digestion rate. Chemical analysis of a range of forage species from South Mexico is presented, most notably *Gliricidia* spp., *Leucaena leucocephala*, *Erithrina indica*, with 21.2, 26.6, 21.3 % of crude protein (CP), respectively. A major impact of tree foliage quality is the increment in intake and digestibility of low quality diets as a result of the increment in the ammonia ( $\text{NH}_3$ ) concentration in the rumen which improves animal performance as it has been found with the inclusion of *Cratylia argentea*, which successfully reduced the use of concentrate in dual purpose cattle without decreasing milk yield. Similarly, supplementation of 1.2 kg DM of *L. leucocephala* during the dry season in dual purpose cattle resulted in an increase in milk yield and weight gain, of 45 and 80 %, respectively, particularly in low-quality diets. This improvement is associated with the increase in microbial protein supply and the amount of aminoacids absorbed from the small intestine. However, it is important to emphasize that the level of intake and digestibility improvement with foliage

trees depends on the quality of the basal diet. This improvement tends to be less as CP content of the basal diet increases. It has been reported that, above 10 % CP in the basal diet, the inclusion of foliage tree did not improve intake and digestibility. It has been found in South-East Mexico that ground pods of *Enterolobium cyclocarpum* have a good nutritive value for sheep production. Energy supply in diets based on tropical grasses and supplemented with tree foliage promote a high rate of rumen digestion, increments in volatile fatty acid production and higher microbial protein supply to the duodenum. In conclusion, tree species hold potential to improve livestock production systems, due to their high nutrient content, that increase intake and digestibility of basal diet, which render increments in animal performance, especially in low quality diets. Energy supplements could allow to achieve such potential.

Key words: trees, intake, rumen digestion, silvipastoral, energy supplementation

## INTRODUCCIÓN

Las especies arbóreas constituyen uno de los componentes más importante en los sistemas de producción animal, ya que pueden tener diversas funciones que incluyen la conservación del medio ambiente y la preservación del paisaje y del hábitat de las especies silvestres. Desde el punto de vista de la alimentación animal, el follaje y los frutos de las especies arbóreas, tanto por su calidad como por su disponibilidad en las épocas críticas, son una opción valiosa para la producción pecuaria en el trópico. La diversidad de especies leñosas constituye una fuente importante de nutrimentos que ha demostrado tener un buen potencial tanto desde el punto de vista de la productividad animal como desde el punto de vista del mantenimiento y mejora del medio ambiente. No obstante, existen algunos aspectos que merecen atenderse con el fin de mejorar los índices de producción animal. Los sistemas de producción animal, por lo general, se desarrollan en áreas marginales cuyos suelos son poco fértiles y donde se cultivan gramíneas sujetas a un manejo extensivo. Bajo estas condiciones, una de sus principales limitantes es la alimentación, especialmente en aquellos sistemas de pastoreo de especies de bajo rendimiento y calidad.

Algunas especies arbóreas están presentes en el agostadero tales como: *Leucaena leucocephala*, *Bursera simaruba*, *Guazuma ulmifolia*, *Piscidia piscipula*, *Samanea saman*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium*, *Erythrina sp.* entre otras. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es revisar el avance en el uso de las especies arbóreas para la alimentación de rumiantes en las regiones tropicales y las estrategias para mejorar la eficiencia de su utilización.

## LIMITACIONES DE LAS GRAMÍNEAS FORRAJERAS TROPICALES

### **Composición química**

En el trópico, debido principalmente a la distribución estacional de las lluvias, se presenta una fluctuación en la producción de forraje, lo que afecta no solo su disponibilidad (Lamela *et al.*, 2001) sino también su composición. Por ejemplo, en la época de lluvias las gramíneas forrajeras presentan un mayor contenido de proteína cruda (PC) con respecto de la época seca. Adicionalmente, la concentración de fibra y lignina en las gramíneas forrajeras tiende a ser mayor en la época seca, así como la cantidad de proteína ligada a FDN, lo que disminuye la solubilidad de la proteína y la DIVMS en comparación a la época de lluvias (Bolívar e Ibrahim, 2004).

La concentración de PC de las gramíneas forrajeras durante la estación de secas es baja (<7.0%), lo que representa una seria limitante para la eficiente fermentación de la celulosa y hemicelulosa en el rumen, ya que las bacterias ruminales sufrirían, bajo tales condiciones, de una deficiencia de nitrógeno (NH<sub>3</sub>) de rápida disponibilidad para su mantenimiento y crecimiento, lo cual finalmente repercute negativamente sobre la degradabilidad ruminal de la materia seca (MS) y sobre el consumo de alimento.

Bajo estas condiciones existe una fuerte restricción de la producción animal en sistemas de producción extensivos. Esta situación se deriva de la baja producción de ácidos grasos volátiles (i.e. acético, propiónico y butírico) por medio de la fermentación de la materia orgánica en el rumen, lo

que compromete el suministro de energía a nivel ruminal, reduciéndose así el aporte de energía y proteína al animal.

Durante la estación de secas, al disminuir la calidad y la cantidad del pasto disponible para el ganado bovino, el consumo de MS se reduce. Aguilar-Pérez (2007) encontró que el consumo de MS de *C. nlemfuensis* de vacas cruzadas en pastoreo fluctuaba entre el 1.8 y 2.4% del peso vivo. Esta reducción en el consumo causa que las vacas no llenen sus requerimientos de energía metabolizable para el mantenimiento, lo cual conduce a un balance energético negativo y, por lo tanto, a pérdidas de peso y de condición corporal (reservas de grasa), afectándose también los procesos de absorción de metabolitos necesarios para la síntesis de leche durante la lactancia.

#### SISTEMAS AGROFORESTALES EN LA GANADERÍA

La práctica de conversión de bosques a pasturas está ampliamente difundida en Latinoamérica. La remoción de árboles ha estado siempre acompañada de erosión del suelo, reducción de la productividad y de un eventual abandono del área. La deforestación constituye un problema ambiental serio en varias regiones de Latinoamérica, el cual ha sido causado en parte por la expansión de la ganadería extensiva y por las prácticas de agricultura de colonización (Murgueitio *et al.*, 2011). No obstante, se ha demostrado que las leguminosas y arbustivas forrajeras representan una valiosa fuente de proteína adicional para los rumiantes alimentados con dietas altas en forraje de baja calidad. Dichos recursos podrían representar una alternativa para reducir la destrucción de selvas y bosques. Está integración del uso de árboles y arbustos con la producción animal podría dar la pauta para el desarrollo de sistemas de producción sustentables que no atenten contra el equilibrio ecológico de las regiones tropicales, y que incluso podría mejorar el comportamiento animal. Las prácticas agroforestales constituyen una opción económica y de mejora ambiental, con potencial para los sistemas convencionales de producción, a la vez que permiten reducir

la dependencia de la compra de insumos, ya que a través del uso de follajes arbóreos es factible reducir el uso de alimentos concentrados y mejorar el entorno ecológico y la biodiversidad a través del establecimiento y manejo de especies arbóreas y arbustivas (Moyo y Veeman, 2004). La siembra y retención de especies arbóreas en pasturas puede mejorar su productividad y sostenibilidad, especialmente en regiones con secas estacionales, a través del incremento y reciclaje de nutrientes, el mejoramiento de la estructura del suelo, el aporte de follaje en la época seca y el uso de sombras para el ganado que podrían reducir el estrés calórico en los animales e incrementar el consumo de alimento. Los principales árboles forrajeros para la producción pecuaria son de mediana estatura y producen además del follaje, frutos o vainas. De igual forma, el mantenimiento de especies arbóreas en las praderas promueve una mayor retención de carbono y reduce el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero, comparado con lo que se observa en sistemas de producción con gramíneas forrajeras en monocultivo (Calvo e Ibrahim, 2004).

## ESPECIES LEÑOSAS CON POTENCIAL FORRAJERO

### **Calidad nutricional**

Los Cuadros 1 y 2 muestran la composición química y la cinética de la fermentación ruminal de la MS de un rango de follajes de árboles y arbustos disponibles en el sur de México. La mayoría de estas especies constituyen fuentes potenciales de proteína y energía, y se caracterizan por mantener, aun en condiciones de escasez de agua, un elevado potencial de digestión ruminal (Cuadro 2), potenciando su utilidad en los periodos críticos de alimentación en los sistemas de ganaderos de doble propósito (DP) basados en pastoreo de gramíneas nativas y mejoradas.



**Cuadro 1.** Composición química (%) del follaje de árboles y arbustos forrajeros de las regiones tropicales (Monforte-Briceno *et al.*, 2005).

Especie	MS	PC	FDN	FDA	Cenizas	FT	TC
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	36.8	15.7	50.4	30.7	8.2	7.4	3.8
<i>Erithrina standleyana</i>	35.9	11.8	38.8	27.9	10.2	0.6	0.0
<i>Gliricidia sepium</i>	23.7	20.8	32.7	21.1	8.7	0.3	0.0
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	45.1	13.2	46.2	25.5	5.0	4.9	10.4
<i>Piscidia piscipula</i>	38.0	14.1	41.1	25.7	9.8	1.9	5.4
<i>Calliandra calothyrsus</i>	38.3	15.2	38.1	21.1	5.0	4.1	22.4
<i>Leucaena leucocephala</i>	31.6	26.6	40.3	21.5	6.9	2.4	3.7
<i>Erithrina indica (variegata)</i>	19.3	21.3	41.5	29.4	11.7	0.6	0.0
<i>Vitex gaumeri</i>	30.4	11.2	51.5	40.2	8.7	1.5	0.0
<i>Guazuma ulmifolia</i>	38.5	15.0	47.6	29.8	7.2	1.3	7.8
<i>Bursera simaruba</i>	31.5	11.4	37.9	26.4	10.9	0.8	10.1
<i>Gliricidia maculata</i>	22.7	21.6	33.8	21.6	9.9	0.3	0.0
<i>Acacia angustissima</i>	49.0	19.1	28.3	16.6	4.2	8.8	13.1
<i>Acacia farnesiana</i>	45.2	16.7	35.9	19.1	4.3	9.8	33.5
<i>Acacia gaumeri</i>	36.8	16.1	39.2	18.4	8.9	2.4	2.3

MS=materia seca, PC=proteína cruda, FDN=fibra detergente neutro, FDA=fibra detergente ácido, FT=fenoles totales, TC=taninos condensados. .

## USO DEL FOLLAJE ARBÓREO COMO SUPLEMENTO

### Consumo y digestibilidad

Se ha demostrado que mediante la inclusión de follaje de especies arbóreas (e.g. *G. sepium*, *G. ulmifolia*, *Brosimum alicastrum*) en dietas de baja calidad es factible mejorar el consumo voluntario y la digestibilidad de la MS de la dieta base en ovinos (Alayón-Gamboa *et al.*, 1998; Ramírez-Cancino *et al.*, 2000). El follaje de las especies arbóreas contribuye a cubrir las necesidades alimenticias de los animales, ya sea mediante el aporte de N fermentable al rumen (e.g. *B. alicastrum*, *G. sepium*) para el crecimiento de las bacterias celulolíticas, o mediante el aporte de cierta cantidad de proteína de baja degradación ruminal (e.g. *L. leucocephala*) que incrementan la absorción de aminoácidos (AA's) desde el intestino delgado.

Cuadro 2. Cinética de la fermentación ruminal de la MS del follaje de árboles y arbustos de Chiapas, México durante las estaciones de secas y de lluvias (Jiménez-Ferrer, 2000).

Especie	Estación del año	Parámetro de la ecuación: $p = a + b(1 - \exp^{-ct})$			
		a (%)	b (%)	a + b (%)	c (/h)
<i>Cajanus cajan</i>	Secas	22.97	51.11	74.08	0.114
	Lluvias	22.39	50.10	72.49	0.095
<i>Calliandra houstoniana</i>	Secas	12.00	28.71	40.71	0.025
	Lluvias	26.45	15.14	41.59	0.008
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Secas	23.48	52.09	75.57	0.058
	Lluvias	19.43	58.53	77.96	0.073
<i>Gliricidia sepium</i>	Secas	33.97	49.50	83.47	0.131
	Lluvias	34.53	30.16	64.69	0.152
<i>Brosimum alicastrum</i>	Secas	33.86	52.97	86.63	0.050
	Lluvias	19.00	64.04	83.03	0.067
<i>Leucaena leucocephala</i>	Secas	28.63	33.66	62.99	0.024
	Lluvias	25.04	34.92	59.97	0.044
<i>Erithrina mexicana</i>	Secas	24.74	53.00	77.74	0.108
	Lluvias	26.92	47.03	73.95	0.042

P=potencial de degradación, a=fracción soluble en agua, b=fracción insoluble pero potencialmente degradable de la materia seca.

En varias regiones tropicales se encuentra difundido su empleo por parte de los pequeños productores, observándose que con su inclusión en la dieta se puede llegar a sustituir el uso de concentrados en vacas lecheras. En este sentido, con el aporte de 3 kg de follaje fresco de *C. calothyrsus* es posible sustituir el equivalente a 1 kg de alimento comercial y sostener la misma producción de leche del ganado, o con la disposición de 500 árboles se puede obtener suficiente forraje para suplementar a una vaca durante todo su período de lactancia (Paterson *et al.*, 1998).

Sin embargo, es importante remarcar que el contenido de PC de la dieta base y del follaje arbóreo empleado tienen influencia sobre la magnitud de la respuesta en el consumo total de MS. El incremento en el consumo de MS tiende a ser menor conforme el nivel de proteína de la dieta base se incrementa. Adicionalmente, si se consideran solo los valores proteicos

del forraje la reducción es mayor. Se observan incrementos en el consumo con niveles de la dieta base de hasta 6% de PC. No obstante, no hay efecto significativo sobre el consumo de MS cuando la PC es mayor al 10%, esto probablemente se deba a que con estos niveles de PC se mantiene con buenas condiciones nitrogenadas el ambiente ruminal, minimizándose el efecto del follaje de buena calidad (Valdivia, 2007). Tal como indican Adejumo y Ademosum (1991), quienes no encontraron incrementos significativos con el suministro de *L. leucocephala* sobre el consumo de MS cuando la dieta base tuvo un nivel de PC superior al 10%. Pruebas de cafetería recientes han demostrado la misma tendencia. Tanto ovinos como caprinos prefieren consumir menos aquellos follajes con un contenido de PC mayor (Alonso Díaz *et al.*, 2008, 2009).

### **Producción animal**

Es importante evaluar el aporte de nutrientes a la dieta cuando se utilizan árboles forrajeros, debido a que en condiciones tropicales es probable que exista una deficiencia en el aporte de energía, lo cual repercutirá en el consumo potencial de biomasa forrajera.

No obstante, en general, puede decirse que al utilizar follaje de *L. leucocephala* y de otras especies arbóreas en la alimentación de rumiantes cuando la dieta base es de baja calidad se aumenta la ganancia de peso a medida que se incrementa el nivel de suplementación (Melaku *et al.*, 2004). En contraste, cuando la dieta base es de buena calidad el efecto del follaje en la producción se ve reducido (Adejumo y Ademosum, 1991). La ventaja es evidente en dietas basadas en forrajes de baja calidad y es por su capacidad de aportar N al rumen para la síntesis de proteína microbiana y por su habilidad de aportar aminoácidos que se digieren y absorben en el intestino. Así, la incorporación de *L. leucocephala* al suplemento aumenta hasta en 45% la producción de leche y en 80% la ganancia de peso de vacas de doble propósito (DP) durante la sequía; y se pueden alcanzar producciones de 14.7 L/vaca/día (Kakengi *et al.*, 2001) siendo también posible reducir en 50% el suministro de concentrado a vacas de DP propósito con acceso

a una asociación de *L. leucocephala* y *C. nlemfuensis* durante 4 h/día, sin afectar el rendimiento de leche (Peniche González, 2009).

Adicionalmente a *L. leucocephala*, se han reportado otras especies arbóreas que ofrecen un potencial para incrementar la producción de leche. Entre ellas se encuentran *C. argentea*, *G. sepium*, *E. poeppigiana*. Por otra parte, *C. argentea* es un arbusto leguminoso que tiene un rápido establecimiento y vigoroso crecimiento después de la defoliación, es tolerante a la sequía y mantiene buenas características nutricionales aun en los periodos secos (Ibrahim *et al.*, 2001). Se ha observado que este follaje si se somete a secado y se le adiciona melaza incrementa significativamente el consumo de MS de *Hyparrhenia rufa* de vacas cruzadas y es factible de utilizarse en sustitución de pollinaza como una forma de sostener la producción y calidad de la leche. La sustitución de pollinaza por *C. argentea* en dietas suplementadas con caña de azúcar y salvado de trigo permite mantener la producción de leche y similares concentraciones de grasa, proteína, sólidos y lactosa en la leche.

De la misma manera, *G. sepium* es una leguminosa arbórea que ha sido utilizada exitosamente para sustituir los alimentos concentrados en ganado lechero, ya que además de producir elevadas cantidades de follaje de alta calidad, es más persistente que muchas otras leguminosas y puede ser utilizado bajo condiciones de pastoreo. Sus rendimientos fluctúan de 6 a 11.7 t MS/ha/año, dependiendo de la forma de propagación, del manejo de la cosecha y las condiciones climáticas (Alayón-Gamboa *et al.*, 1997). No obstante, tiene una baja palatabilidad asociada con algunos metabolitos secundarios, aunque no se han reportado problemas de toxicidad en rumiantes. Para incrementar su aceptación se ha utilizado melaza y sal, así como la adaptación de los animales, el marchitamiento y el secado (Smith, 1992).

También ha sido estudiado el follaje de *E. poeppigiana*, el cual contiene elevadas cantidades de proteína que permite incrementar la fermentación ruminal, lo que resulta en un aumento de la digestibilidad y el consumo de alimentos fibrosos y, por consiguiente, mejora la producción animal. Tanto *G. sepium* como *E. poeppigiana* incrementan la producción de leche de

vacas cruzadas si se compara con la producción obtenida con la suplementación con urea. Este efecto obedece, en gran medida, a su capacidad de aportar rápidamente cantidades suficientes de N fermentable en el rumen que favorece el incremento de la proteína microbiana y el consumo de MS en los rumiantes (Alayón-Gamboa *et al.*, 1998).

Los frutos de *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste, parota) también han sido empleados como un alimento disponible para rumiantes en las regiones tropicales de México y Centroamérica durante la estación de seca. Andrade *et al.* (2008), en Costa Rica, reportaron un rendimiento de alrededor de 86 kg de frutos por árbol. En el sur de México, la disponibilidad del fruto es marcadamente estacional, predominando éstos en los meses de abril y mayo. En Honduras, Moscoso *et al.* (1995) incorporaron el fruto de *E. cyclocarpum* en la ración de ovinos de pelo con resultados satisfactorios (Cuadro 3).

Cuadro 3. Consumo, ganancia de peso y rendimiento de la canal en ovinos Katahdin x Dorper alimentados con diferentes niveles del fruto de *E. cyclocarpum* en la ración (Moscoso *et al.*, 1995).

Variable	Porcentaje de harina del fruto de <i>E. cyclocarpum</i>				
	0	12	24	36	Promedio
Peso Inicial-Final, kg	21.0-33.7	21.0-35.0	21.0-33.7	21.1-33.8	21.0-34.1
Consumo, g MS kg/an/d	1480	1520	1540	1610	1540
Ganancia de peso, g/d	223	346	223	223	229
Rendimiento, %	49.7	49.0	49.3	49.8	49.5

La ganancia de peso y el rendimiento son razonables para un nivel de incorporación de 36% de harina de *E. cyclocarpum* en la ración (Cuadro 3). *E. cyclocarpum* pudiera tener efectos benéficos desde una perspectiva ambiental, debido a su contenido de saponinas y al potencial de estos metabolitos secundarios para reducir la población de protozoarios del rumen y consecuentemente la metanogénesis. Se ha demostrado que el follaje de *E. cyclocarpum* reduce la población protozoaria del rumen en 25% cuando se proporciona a ovejas (187 g MS/d) (Koenig *et al.*, 2007) y se ha propuesto que la producción de metano se pudiera reducir por medio de la defauna-

ción ruminal (Shibata y Terada, 2010). Mao *et al.* (2010) lograron reducir la metanogénesis en 27% en ovinos en crecimiento a los cuales se les proporcionaron saponinas de la planta de té. Se ha demostrado que el consumo del fruto de *E. cyclocarpum* mezclado con otros ingredientes es satisfactorio (Cuadro 4; Piñeiro, datos no publicados). Esquivel-Mimenza *et al.* (2010) reportaron una ganancia de 239 g/día en ovinos alimentados con 50% de la MS de la ración como vaina molida de *E. cyclocarpum* en borregos de pelo en una granja comercial en el sur de México.

El fruto de *E. cyclocarpum* tiene una fracción soluble elevada, compuesta probablemente de carbohidratos solubles. El potencial de degradación (a + b) resulta por tanto en un valor alto (86.3%). La ganancia de peso observada en el trabajo de Esquivel-Mimenza *et al.* (2010) (239 g/animal/día; Cuadro 5) es comparable con el valor reportado (223 g/animal/día) por Moscoso *et al.* (1995). El buen comportamiento animal observado con alimentación con 50% de harina de *E. cyclocarpum* en la ración puede explicarse por la alta degradación ruminal de este sustrato que induce un buen consumo voluntario, pero también por un probable aumento en la eficiencia de síntesis de proteína microbiana en el rumen (Koenig *et al.*, 2007). El efecto defaunante debido a las saponinas pudo haber contribuido a reducir la producción de metano en el rumen (Mao *et al.*, 2010; Shibata y Terada, 2010) y, por tanto, a aumentar la concentración de EM de la ración consumida, resultando en una buena ganancia de peso.

Cuadro 4. Consumo y digestibilidad de la MS en ovinos de pelo alimentados con raciones que contienen diversos niveles del fruto molido de *E. cyclocarpum* (A. Piñeiro-Vázquez, 2010; datos no publicados).

Fruto de <i>E. cyclocarpum</i> en la MS de la ración (%)	Consumo		Digestibilidad
	g MS/kg <sup>0.75</sup> /d	g MS/animal/d	g/kg MS
0	73 ± 1 <sup>a</sup>	1252 ± 2 <sup>a</sup>	780 ± 2 <sup>a</sup>
20	87 ± 5 <sup>a</sup>	1440 ± 6 <sup>a</sup>	772 ± 1 <sup>a</sup>
30	88 ± 5 <sup>a</sup>	1516 ± 1 <sup>a</sup>	758 ± 1 <sup>a</sup>
40	94 ± 3 <sup>a</sup>	1595 ± 6 <sup>a</sup>	722 ± 1 <sup>a</sup>
50	91 ± 2 <sup>a</sup>	1554 ± 7 <sup>a</sup>	709 ± 2 <sup>a</sup>

Los resultados de los trabajos realizados en Yucatán, México, indican que los frutos de *E. cyclocarpum* tienen una buena composición química (15-16% de PC, 30-35% de FDN) y el potencial de degradación ruminal de la MS de los frutos molidos es alto (86%). El consumo de MS en ovinos (1.2 kg/animal/día) y la digestibilidad (71%) de las raciones son altos. La ganancia de peso (239 g/día) y la conversión alimenticia (5.3:1) de raciones que contienen fruto de *E. cyclocarpum* son satisfactorios para ovinos de pelo. La disponibilidad de los frutos de *E. cyclocarpum* durante la estación de secas representa un potencial para la alimentación de los ovinos bajo las condiciones de los productores de pequeña escala en el sur de México.

**Cuadro 5.** Comportamiento productivo de ovinos Pelibuey alimentados durante 42 días en una granja comercial con un concentrado comercial o con una ración que contiene 50% de la MS como frutos molidos de *E. cyclocarpum* (Esquivel-Mimenza et al., 2010).

Tratamiento	Consumo de MS g/animal/día	Ganancia de peso g/ animal/día	Conversión alimenticia (alimento/ganancia)
Ración de concentrado comercial (peletizado) (n=20 ovinos)	980	251	3.9
Ración con 50% de la MS como fruto molido de <i>E. cyclocarpum</i> (n=20 ovinos)	1155	239	5.3

Los valores son medias aritméticas de 20 ovinos.

### Suplementación energética

A pesar de su alto contenido de PC, el follaje arbóreo está limitado en cuanto a la disponibilidad de energía. Ordoñez Tercero (2002) encontró que la adición de una fuente energética a la dieta base de *P. purpureum*, suplementada con una mezcla de follaje de *L. leucocephala* y *B. alicastrum* en vacas F<sub>1</sub> no influyó sobre el consumo voluntario de la MS, ni sobre la fracción potencialmente degradable en el rumen de la MS y de la materia orgánica (MO) de la dieta base. Sin embargo, la fuente de energía si afectó la tasa de degradación, la cual resultó mayor con la adición de melaza que con maíz. Similarmente, la producción de ácidos grasos volátiles (AGV's)

en el rumen y el aporte de nitrógeno microbiano (ANM) al duodeno (ANM) fueron mayores con la suplementación de melaza que con maíz. En general, este autor encontró que el ANM se incrementó 65% con la adición de una fuente energética, aunque la melaza fue más eficiente que el grano de maíz (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Efecto del suministro de energía sobre el aporte de N microbiano al duodeno (ANM) y la eficiencia de síntesis de proteína microbiana en vacas  $F_1$  alimentadas con forraje maduro de *P. purpureum* y mezcla de follaje arbóreo (*L. leucocephala* y *B. alicastrum*) (Adaptado de Ordoñez Tercero, 2002).

Tratamiento	ANM (g/día)	EEM	Eficiencia del ANM (g/kg MOAFR)	EEM	AGV's mM/L	EEM
Sin fuente de energía	25.8 b	3.6	9.6 a	1.18	109.9 b	9.6
Con melaza	51.6 a	4.4	15.9 b	1.44	146.3 a	10.6
Con maíz	33.7 b	4.4	9.6 a	1.18	108.2 b	9.6

MOAFR: Materia orgánica aparentemente fermentable en el rumen, AGV's ácidos grasos volátiles, ANM aporte de nitrógeno microbiano. EEM: Error estándar de la media. Medias dentro de la misma columna seguidas por diferentes literales son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ )

Aun cuando la melaza promueve un mayor SNM al duodeno que el maíz (Ordoñez Tercero, 2002), los almidones del maíz podrían promover una mayor absorción de aminoácidos en el duodeno, además de proveer una mayor disponibilidad de energía para ser absorbida a este nivel (Huntington y Reynolds, 1986), y con ello un mejor aprovechamiento del N, ya que la deposición de proteína en el músculo o en la leche depende de la eficiencia del uso de los aminoácidos absorbidos que es dependiente a la vez de la disponibilidad de energía para su metabolismo (Poppi y McLennan, 1995); por lo tanto, podría haber una mejor utilización del N tanto a nivel ruminal como postruminal.

Cuando los suplementos tienen una alta degradación ruminal de la MS (e.g. follaje de *S. sesban*) y representan una fracción importante del total de MS, se observa una aparente inhabilidad de los microorganismos del rumen para utilizar el N degradable aportado por el follaje. Este exceso



de N se traduce en un incremento en la excreción de N urinario que pasa de 1.08 g/día, con 26% de consumo de *Sesbania*, a 2.08 g/día cuando se incrementa el consumo de suplemento a 31% (Bonsi *et al.*, 1994), sin cambios en el balance de N, probablemente debido a un déficit de energía en el ambiente ruminal. En este sentido, Muinga *et al.* (1995) observaron que cuando el consumo de *L. leucocephala* representó 25% del total, parece haber una deficiencia de energía en el rumen que imposibilita a las bacterias a aprovechar mejor el N aportado por el follaje. Cuando al mismo nivel de consumo se suplementó con maíz se redujeron las pérdidas urinarias de N y se mejoró el balance de N. Esta mejor retención de N es posiblemente debido a un incremento en la síntesis de proteína microbial. Ku-Vera *et al.* (2011) reportaron un aumento lineal en la excreción de N urinario en ovinos alimentados con cantidades crecientes (0-60% de la MS) de follaje de *L. leucocephala* mezclado con *Cynodon nlemfuensis*, lo cual probablemente refleja una pérdida de nitrógeno del tracto gastrointestinal de los ovinos (Poppi y McLennan, 1995).

## CONCLUSIONES

El follaje y los frutos de árboles y arbustivas constituyen un componente valioso para mejorar la calidad de la dieta de los rumiantes en las regiones tropicales. Existe un buen potencial para mejorar la ganancia de peso vivo, la condición corporal, el balance energético y el rendimiento de leche y carne en vacas cruzadas en pastoreo en sistemas de doble propósito por medio de la incorporación del follaje de arbustivas y arbóreas en la ración. El uso de suplementos energéticos permite mejorar la respuesta a la suplementación con follaje arbóreo, por lo que es necesaria la incorporación de fuentes de energía de rápida disponibilidad en el rumen, cuando se emplea el follaje de árboles y arbustivas, para hacer más eficiente la captura del nitrógeno ( $\text{NH}_3$ ) disponible derivado de la fermentación de la proteína cruda del follaje por parte de las bacterias ruminales. El productor deberá evaluar la disponibilidad y costo de las opciones (follaje y frutos de árboles o arbustos;

uso de subproductos, etc.) para decidir su uso con el fin de lograr la mayor rentabilidad en un sistema de producción como el de doble propósito, que está presente en la mayoría de los países latinoamericanos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adejumo J.O. y Ademosun A.A. (1991). "Utilization of leucaena as supplement for growing dwarf sheep and goats in the humid zone of East Africa". *Small Ruminant Research*, 5: 75-82.
- Aguilar-Pérez C.F. (2007). Energy balance and reproductive performance in grazing crossbred cows in the tropics. PhD Thesis. University of Nottingham, Sutton Bonnington, England.
- Alayón-Gamboa J.A. y Ramírez-Avilés L. (1997). "Propagation methods and nutritional characterization of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud". *Avances en Investigación Agropecuaria*. 4 (3): 9-15.
- Alayón-Gamboa J.A., Ramírez-Avilés L. y Ku-Vera J.C. (1998). "Intake, rumen digestion, digestibility and microbial nitrogen supply in sheep fed *Cynodon nlemfuensis* supplemented with *Gliricidia sepium*". *Agroforestry Systems*, 41 (2): 115 - 126.
- Alonso Díaz M.A., Torres Acosta J.F.J., Sandoval Castro C.A., Hoste H., Aguilar Caballero, A.J. y Capetillo Leal C.M. (2008). "Is goats' preference of forage trees affected by their tannin or fiber content when offered in cafeteria experiments?" *Animal Feed Science and Technology*, 141: 36-48.
- \_\_\_\_\_ (2009). "Sheep preference for different tanniferous tree fodders and its relationship with *in vitro* gas production and digestibility". *Animal Feed Science Technology*, 151: 75-85.
- Andrade H.J., Esquivel H. e Ibrahim M. (2008). "Disponibilidad de forrajes en sistemas silvopastoriles con especies arbóreas nativas en el trópico seco de Costa Rica". *Zootecnia Tropical*, 26: 289-292.
- Bolívar D.M. e Ibrahim M. (2004). "Solubilidad de la Proteína y Degradabilidad Ruminal de *Brachiaria humidicola* en un Sistema Silvopastoril con *Acacia mangium*". En: VI Seminario Internacional Sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles. [www.cipav.org.co/redagrofor/memorias99/SeminInd.htm](http://www.cipav.org.co/redagrofor/memorias99/SeminInd.htm). 17-28 Jun 2004.

- Bonsi M.L.K., Osuji P.O., Nsahlai I.V. y Tuah, A.K. (1994). "Graded levels of *Sesbania sesban* and *Leucaena leucocephala* as supplements to teff straw given to Ethiopian Menz Sheep". *Animal Production*, 59: 235-244.
- Calvo M.V. e Ibrahim M. (2004). Fixation, emisión and balance of greenhouse gases in Monoculture pastures and Silvopastoral Systems of Milk farmers in the High zones of Costa Rica. 2<sup>nd</sup>. International Symposium on Silvopastoral Systems. Lt. Mannetje, Ramírez L, Ibrahim M., Sandoval C., Ojeda N., and Ku VJ (eds), pp. 102-108.
- Esquivel-Mimenza H., Piñeiro-Vázquez A., Bazán-Godoy J., Ayala-Burgos A., Espinoza-Hernández J. and Ku-Vera J. (2010). "Integration of *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb tree with hair sheep production in the dry tropics". *Advances in Animal Biosciences*. 1:444-445.
- Huntington G.B. and Reynolds P.J. (1986). "Net absorption of glucose, L-lactate, Volatile fatty acids, and nitrogenous compounds by bovine given abomasal infusions of starch or glucose". *Journal of Dairy Science*, 69: 2428-2436.
- Ibrahim M., Franco M., Pezo D.A., Camero A. y Araya J.L. (2001). "Promoting intake of *Cratylia argentea* as a dry season supplement for cattle grazing Hyparrhenia rufa in the subhumid tropics". *Agroforestry Systems*, 51: 167-175.
- Jiménez Ferrer G. (2000). Potencial de árboles y arbustos forrajeros en la región maya tzotzil del norte de Chiapas, México. PhD Tesis, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.
- Kakengi A.M., Shem M.N., Mtengeti E.P. y Otsyina R. (2001). "*Leucaena leucocephala* leaf meal as supplement to diet of grazing dairy cattle in semiarid Western Tanzania". *Agroforestry Systems*, 52: 73-82.
- Koenig K.M., Ivan M., Teferedegne B.T., Morgavi D.P., Rode L.M., Ibrahim I.M. y Newbold C.J. (2007). "Effect of dietary *Enterolobium cyclocarpum* on microbial protein flow and nutrient digestibility in sheep maintained fauna-free, with total mixed fauna or with *Entodinium caudatum* monofauna". *British Journal of Nutrition*, 98: 504-516.
- Ku Vera J.C., Ruiz González A., Albores Moreno S., Briceño Poot E., Espinoza Hernández J., Ruz Ruiz N., Contreras Hernández L.M., Ayala Burgos A.J. y Ramírez Avilés L. (2011). "Alimentación de rumiantes en sistemas silvopastoriles intensivos: avances recientes de investigación básica". En: Memorias del III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos. Morelia y Apatzingán, Michoacán. 2-4 de marzo, 2011. Fundación Produce Michoacán, A.C. pp. 8-16.
- Lamela L., Matías C., Fung C y Valdés R. (2001). "Efecto del banco de proteína de leucaena en la producción de leche". *Pastos y Forrajes*, 23: 259-264.

- Mao H.L.M., Jia-Kun W., Yi-Yi Z. y Jian-Xin L. (2010). "Effects of addition of tea saponins and soybean oil on methane production, fermentation and microbial population in the rumen of growing lambs". *Livestock Science*, 129: 56-62.
- Melaku S., Peters K. y Tegegne A. (2004). "Supplementation on Menz ewes with dried leaves of *Lablab purpureus* or graded levels of *Leucaena pallida* I4203 and *Sesbania sesban* I198: effects on feed intake, live weight gain and estrous cycle". *Animal Feed Science and Technology*, 113: 39-51.
- Monforte-Briceño G.F., Sandoval-Castro C.A., Ramírez-Avilés L. y Capetillo Leal C.M. (2005). "Defaunating capacity of tropical fodder trees: Effects of polyethylen glycol and its relationship to *in vitro* gas production". *Animal Feed Science and Technology*, 123-124: 313-327.
- Moscoso C., Vélez M., Flores A. y Agudelo, N. (1995). "Effects of guanacaste tree (*Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb) fruit as replacement for sorghum grain and cotton-seed meal in lamb diets". *Small Ruminant Research*. 18:121-124.
- Moyo S. y Veeman M. (2004). "Analysis of joint and endogenous technology choice for protein supplementation by smallholder dairy farmers in Zimbabwe". *Agroforestry Systems*, 60: 199-209.
- Muinga R.W., Topps J.H., Rooke J.A. y Torpe W. (1995). "Effect of supplementation with *Leucaena leucocephala* and maize bran on voluntary food intake, digestibility, live weigh and milk yield of *Bos indicus* x *Bos taurus* dairys cows and rumen fermentation in steers offered *Pennisetum purpureum ad libitum* in the semi-humid tropics". *Animal Science*, 60: 13-23.
- Murgueitio E., Calle Z., Uribe F., Calle A. and Solorio B. (2011). Native tres and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*. In press. doi:10.1016/j.foreco.2010.09.027
- Ordoñez Tercero J.C. (2002). Efecto de la suplementación energética y el patrón de alimentación sobre el aporte de nitrógeno microbioal al duodeno en vacas alimentadas a base de forraje tropical. Tesis de Maestría en Producción Animal Tropical, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.
- Paterson R.T., Naranja G.M., Roothaert R.L., Nyaata O.Z. y Kariuki I.W. (1998). "A review of fodder tree production and utilization within smallholder agroforestry systems in Kenya". *Agroforestry Systems*, 41: 181-199.
- Peniche González I. (2009). Comportamiento productivo de vacas de doble propósito en pastoreo con o sin acceso a una asociación de *Leucaena leucocephala* y *Cynodon nlemfuensis*. Tesis de Maestría en Producción Animal Tropical, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.

- Poppi D.P. y McLennan S.R. (1995). "Protein and energy utilization by ruminants at pasture". *Journal of Animal Science*, 73: 278-290.
- Ramírez-Cancino L., Ramírez-Avilés L. y Ku-Vera J.C. (2000). "Effect of incorporating multipurpose-Trees (MPTs) foliage in a basal ration of poor-quality *Pennisetum purpureum* hay fed to Pelibuey sheep". *Journal of Applied Animal Research*, 17: 239 – 251.
- Valdivia (2007). Metabolismo del nitrógeno y función ruminal en vacas cruzadas *Bos taurus* x *B. indicus* en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala*. PhD Thesis, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.
- Smith O.B. (1992). "Fodder trees and shrubs in range and farming systems in tropical humid África". En: Speedy A. and Pugliese P. (eds) *Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock*. FAO Animal Production and Health paper 102, Rome, pp. 43-59.
- Shibata M. y Terada F. (2010). "Factors affecting methane production and mitigation in ruminants". *Animal Science Journal*, 81: 2-10.



# ESTRATEGIAS DE SUPLEMENTACIÓN PARA EL GANADO RUMIANTE CON BASE EN RECURSOS ALIMENTARIOS TROPICALES

A.J. Ayala-Burgos<sup>1\*</sup>, J.C Ku-Vera<sup>1</sup>, L. Ramírez-Avilés<sup>1</sup>

RESUMEN En las regiones tropicales los pastos son el principal recurso forrajero, sin embargo, éstos presentan limitantes nutricionales intrínsecas a las gramíneas tropicales; más aún, en años recientes se manifiestan signos de baja productividad que sugieren pérdida de la fertilidad en los suelos de los sistemas ganaderos extensivos del estado de Yucatán. El pasto *Bracharia brizantha* es una alternativa ante esta problemática, el cual ha ganado presencia en el estado de Yucatán por su fácil establecimiento, adaptación a suelos pobres y persistencia en la pradera. No obstante, se ha encontrado que la tasa fraccional (%/h) de degradación de la materia seca del pasto en el rumen es baja, lo cual parece coincidir con percepciones de los ganaderos sobre la baja preferencia y consumo voluntario de *B. brizantha*, así como la menor productividad animal en sistemas ganaderos basados en este pasto. Nuestro grupo de investigación ha explorado una serie de alternativas para mejorar el aprovechamiento del pasto *B. brizantha* como modelo de un forraje de baja calidad. Una estrategia que demostró ser positiva fue suplementar forraje de pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) tierno a nivel de 20% del consumo voluntario. Con este nivel de suplementación se estimuló el consumo voluntario del animal, pero de mayor importancia es que representa una opción viable para los ganaderos ya que este pasto es un recurso disponible en muchos ranchos del estado. Otra alternativa

<sup>1</sup> Cuerpo Académico de Producción Animal en Agroecosistemas Tropicales (CAPAAT)

\* aayala@uady.mx

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil km. 15.5 CP. 97100 Mérida, Yucatán, México. Tel: 01(999) 9 42 32 00 ext. 23.

para mejorar el aprovechamiento del pasto *B. brizantha* es el uso de bloques multinutricionales. Se encontró que además de simplificar el manejo de la suplementación al permitir al animal autorregular su consumo, se hace un uso más eficiente del suplemento ya que la cantidad consumida fue ajustada por el animal, acorde con sus necesidades. En el uso de recursos regionales destaca el frijol terciopelo (*Mucuna pruriens utilis*) con resultados positivos de su evaluación nutricional y en el plano comercial. Usando al ovino como modelo, se demostró que es posible aprovechar la eficiencia de masticación del ovino para disminuir gastos del procesamiento de molienda de alimentos con ahorros de energía y económicos para el productor. Esto es relevante para la ovinocultura regional ya que esta actividad presenta un pujante crecimiento, aunque con una alta dependencia en insumos externos (granos, concentrados). Se demuestra que la evaluación sistemática de los recursos alimentarios locales, así como de sus alternativas de suplementación, permiten diseñar estrategias para corregir las restricciones nutricionales derivadas de la baja calidad de las gramíneas tropicales.

Palabras claves: suplementación, rumiantes, recursos tropicales

SUMMARY In the tropics, grasses are the main forage resource; however, they have nutritional constraints. It has recently been found symptoms of low yield that suggest lost of soil fertility in livestock systems of South-East Mexico. *Brachiaria brizantha*, a tropical grass, has been introduced in the Mexican tropics as an alternative to this problem, due to its easy establishment, adaptation to low fertility soils and high persistence under grazing conditions. Nevertheless, it has been found that, the rate of dry matter rumen degradation of *B. brizantha* forage is low, which is in agreement to farmers perceptions about low forage preference, voluntary intake, and animal performance in livestock systems based on this grass. To address this problem, our research group has been searching several strategies to improve forage utilization of *B. brizantha*, used as a model of a low quality tropical grass. A successful strategy was the use of low amounts (i.e. 20% of voluntary intake) of young forage of Taiwan grass (*Pennisetum purpureum*), which increased voluntary intake, and it is a resource available in most farms in the tropics. Another successful strategy to improve utilization of *B. brizantha* by the animal was the use of multi-nutritional blocks. It was found that this strategy



makes supplementation simpler allowing the animal to auto-regulate its intake, and making an efficient use of supplementary resources. Mucuna beans (*Mucuna pruriens*), a local legume, is another strategy that has shown good potential to be used as a supplement. Using sheep as a model, it was found that it could be possible to take advantage of animal chewing skills to reduce grain processing of this legume, resulting in a reduction in costs of feeding. This is important for local sheep production since this activity is expanding, although with a high dependence on external inputs (grains, concentrates). This work demonstrates that systematic evaluation of local feed resources as well as the alternatives for supplementation, allows the design of strategies to correct nutritional constraints resulting of the low-quality of tropical grasses.

Key words: supplementation, ruminants, tropical resources

## INTRODUCCIÓN

La estacionalidad de las lluvias es una característica de las regiones tropicales, que determina una variable disponibilidad de biomasa forrajera durante el año en los sistemas de producción de rumiantes, ya sea con bovinos, ovinos o caprinos. Aunado a esto, la calidad de los pastos tropicales varía por la distinta madurez del recurso forrajero al momento de su uso. Asimismo, se reconoce que los pastos tropicales son de menor calidad en comparación con los de clima templado por su mayor contenido de fibra y lignina, a la vez de un menor contenido proteico y digestibilidad (Van Soest, 1994). En algunas regiones tropicales, la pobre fertilidad de los suelos y/o su mal manejo resulta en una reducción de la capacidad forrajera de las especies de gramíneas tradicionalmente empleadas para el pastoreo animal. Lo anterior explica la baja productividad del ganado rumiante en el trópico (Magaña *et al.*, 2009). Por otro lado, el trópico dispone de una riqueza de especies vegetales, aunque paradójicamente, en las décadas de la “revolución verde”, la diversidad vegetal del trópico era considerada un obstáculo para la intensificación productiva de los sistemas. En años recientes, esta riqueza de especies vegetales ya se considera un potencial para mejorar la eficiencia productiva de los sistemas tropicales, con la ventaja de

no generar dependencia a insumos externos (CAPAAT, 2000). No obstante, el uso de esta riqueza de especies forrajeras tropicales está generalmente limitada por la presencia de diversos factores antinutricionales o metabolitos secundarios presentes en los follajes y frutos de estos recursos (Ayala *et al.*, 2006). El grupo de investigación y academia, “Producción Animal en Agro-ecosistemas Tropicales, ha entendido este reto como una necesidad de investigación para el desarrollo de los sistemas de producción animal tropical. En este sentido, el presente trabajo muestra resultados de algunos de nuestros estudios enfocados a mejorar el aprovechamiento nutricional de los recursos forrajeros locales por los rumiantes.

#### AVANCES DE INVESTIGACIÓN

Un problema relevante de los pastos tradicionalmente empleados en la ganadería en Yucatán, (e.g. Guinea *Panicum maximum*, Estrella de África *Cynodon nlmfuensis*) es la pérdida de su capacidad productiva atribuible posiblemente a la erosión de los suelos. Como respuesta a este problema, nuevas variedades de pastos vienen ganando popularidad entre los ganaderos, por su facilidad de establecimiento, su habilidad para competir con malezas y su persistencia en las praderas. Lo anterior explica el auge en áreas tropicales de México del pasto *Brachiaria brizantha*. En el estado de Yucatán, se estima que 150,000 hectáreas son pastoreadas por bovinos y ovinos (Flores, 2009); esto hace al *B. brizantha* la segunda especie forrajera de mayor presencia en Yucatán, aunque hasta hace pocos años esta especie era prácticamente desconocida en ranchos ganaderos del estado. No obstante la popularidad del pasto *B. brizantha*, los productores han manifestado inquietudes acerca de su limitado desempeño, señalando que (*sic*): “los animales no crecen ni engordan bien con el *brizantha*”; “mis animales prefieren otros pastos más que al *brizantha*”. En respuesta a estas inquietudes, el CAPAAT de la Universidad Autónoma de Yucatán ha evaluado el valor nutricional y la capacidad forrajera del *B. brizantha* en una serie de estudios (Grajales 2004, Grajales *et al.*, 2006, Merlo, 2008). Se estimó que el

rendimiento anual de *B. brizantha* es de 15.1 t MS/ha/año, bajo condiciones de temporal, sin fertilización en la zona sur del estado (Merlo, 2008). Estas cifras son comparables con lo reportado en la literatura. La composición químico-nutricional mostró cualidades positivas, en particular se encontraron contenidos de proteína cruda desde 7 hasta 12% para edades entre 4 y 6 semanas, que representan las condiciones de pastoreo común usados por los ganaderos del estado (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición química (%) de *B. brizantha* a diferentes edades y épocas (Merlo *et al.*, 2008)

Época	Edad (semanas)	MO	PC	FDN	FDA	Lig.	EE	N-FDA
Secas	2	88.2	12.9	61.8	31.4	4.6		
	4	89.5	10.0	67.2	33.8	4.4		
	6	89.5	9.6	67.9	33.7	4.3		
	8	90.1	9.5	68.3	34.9	4.6		
Lluvias	2	80.5	18.6	54.8	32.5	6.5	4.9	0.49
	4	82.7	10.6	64.3	37.3	5.9	2.9	0.22
	6	87.5	7.0	72.2	38.7	5.5	3.4	0.23
	8	88.6	5.6	75.1	41.5	8.0	2.5	0.08
Nortes	2	87.6	15.7	50.9	26.8	5.2		
	4	88.8	11.7	57.1	30.4	7.8		
	6	89.2	9.3	58.9	30.4	7.7		
	8	89.8	7.9	61.8	31.9	7.6		

MO: materia orgánica; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; Lig: lignina; EE: error estándar; N-FDA: nitrógeno ligado a la fibra detergente ácido.

Siendo la composición química de *B. brizantha* relativamente aceptable, se ha encontrado explicación a la percepción de su baja calidad en estudios de la degradación ruminal. Los resultados revelan una baja tasa de degradación de la MS de *B. brizantha*, siendo menor a 4%/h y de apenas 2.6%/h para las fracciones fibrosas (FDN y FDA) de la hoja de *B. brizantha* (Grajales *et al.*, 2006; Flores, 2009). En un intento por encontrar opciones de mejora en la digestibilidad del forraje se evaluaron edades de cosecha del

forraje sobre el aprovechamiento digestivo por el rumiante, sin embargo, se obtuvieron resultados similares que confirman la baja tasa de degradabilidad ruminal del pasto *B. brizantha*, incluso a edades tempranas (Cuadro 2). Considerando que el componente mayoritario de la MS del pasto *B. brizantha* es su fracción fibrosa, se esperan restricciones al consumo voluntario (Minson, 1990; Van Soest, 1994) por efecto del llenado físico y en consecuencia una menor productividad animal.

**Cuadro 2.** Tasa de degradación MS (% h<sup>-1</sup>) de *B. brizantha* a diferentes edades y épocas (secas, lluvias y nortes) provenientes del Sureste de México (Merlo *et al.*, 2008)

Edad semanas	Época			Media
	Secas	Lluvias	Nortes	
2	3.04	4.19	4.06	3.76
4	3.24	3.85	3.16	3.42
6	3.71	3.41	3.84	3.65
8	3.21	2.95	3.94	3.37
Media	3.30	3.60	3.75	
EE	0.207	0.281	0.278	0.148

EE: Error estándar de medias

Con el antecedente de una lenta tasa de degradación ruminal y un potencial bajo de consumo, se planteó la hipótesis de mejorar el aprovechamiento de *B. brizantha*, mediante el uso de la suplementación, con recursos forrajeros locales de mejor calidad. Algunas opciones evaluadas disponibles en ranchos de la región fueron el pasto de corte “Taiwán” (*Pennisetum purpureum*) tierno (1.5 m de altura), el follaje de Huaxim (*Leucaena leucocephala*) o bien, tratar el heno de *B. brizantha* con hidróxido de sodio para mejorar su digestibilidad y pasaje ruminal. El estudio (Latorre, 2009) se realizó con bovinos alimentados a base de forraje maduro de *B. brizantha*, suplementados con el 20% del consumo voluntario de las alternativas señaladas anteriormente. Los resultados indican que la mejor alternativa de suplementación es con 20% del consumo voluntario con base en el forraje Taiwán ya que esta suplementación permitió incrementar el consumo total de alimento sin detrimento del consumo de la dieta basal de heno de *B.*

*brizantha* maduro (Cuadro 3). Este resultado es relevante ya que muchos ganaderos de las regiones tropicales de México disponen de pasto Taiwán en áreas cercanas a los corrales del ganado y la suplementación del ganado con cantidades limitadas de pasto Taiwán verde cuando se dispone de abundante forraje maduro de *B. brizantha* es una práctica viable para los productores.

Otra estrategia de suplementación evaluada para mejorar el aprovechamiento del pasto *B. brizantha* maduro son los bloques multinutricionales. Su composición se basa en melaza (45%), urea (4%), un material de relleno disponible al productor con cualidades nutricionales deseables; en este caso se usó el fruto (grano y vaina) del frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) molido (30%), sales minerales (6%) y un material aglomerante, que en base a experiencias previas ha sido el cemento Portland (15%). El objetivo de este tipo de suplementación es, entre otros, reducir el manejo de la suplementación diaria ya que los bloques por su dureza limitan el consumo diario, reducen el riesgo al uso de la urea, reducen la competencia entre animales, requieren de menos espacio e instalaciones de comedero y distribuye el consumo del suplemento a lo largo del día, lo que permite mejorar el aprovechamiento de nutrimentos a nivel ruminal, en particular de la urea. Los bloques multinutricionales elaborados pesan alrededor de 30 kg y ofertando dos bloques por grupo de 15 toretes (250 kg de peso vivo) permitió asegurar la suplementación diaria por más de 14 días con un manejo de oferta (Figura 1).

Otra estrategia evaluada (Flores, 2009) para mejorar el aprovechamiento de *B. brizantha* mediante el uso de distintas presiones de pastoreo con bovinos. Se evaluaron tres cargas al pastoreo de *B. brizantha*: 1.5, 3.0 y 4.5 UA/ha (UA: 450 kg peso vivo) bajo pastoreo rotacional y periodos de ocupación y descanso de la pradera de 3 y 27 días, respectivamente. Se encontró que los animales fueron capaces de reducir o aumentar el consumo del suplemento en función de la disponibilidad de forraje al pastoreo. Los consumos diarios del bloque multinutricional fueron 583, 398 y 291 g MS/animal/día para 1.5, 3.0 y 4.5 UA/ha, respectivamente (Figura 1). Esta respuesta muestra que la

suplementación con bloques multinutricionales en condiciones de pastoreo resulta en un uso eficiente del recurso ya que la suplementación con cantidades fijas por animal puede significar proporcionar un exceso al inicio del uso de una pradera con mucha biomasa, o proporcionar una cantidad insuficiente, al final del tiempo de estancia en una pradera, o en parcelas de menor tamaño y/o con menor disponibilidad forrajera.

**Cuadro 3.** Consumo de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y fibra detergente ácida (FDA) en g/PV<sup>0.75</sup>/día de bovinos alimentados a base heno de *B. brizantha* maduro y suplementado con diferentes alternativas forrajeras. (Latorre 2009)

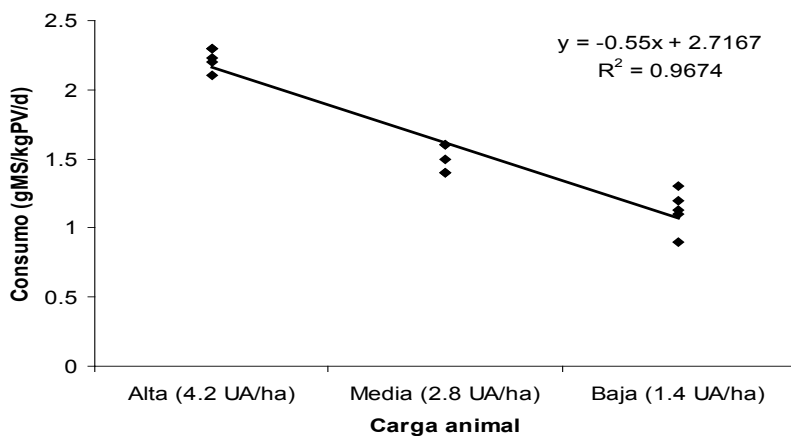
Consumo Total	Tratamientos <sup>1</sup>				EE	P
	TC	TH	TL	TP		
gMS/PV <sup>0.75</sup> /día	68.9 <sup>bc</sup>	61.3 <sup>c</sup>	78.1 <sup>ab</sup>	82.5 <sup>a</sup>	2.61	<0,01
gMO/PV <sup>0.75</sup> /día	64.2 <sup>bc</sup>	55.9 <sup>c</sup>	72.4 <sup>ab</sup>	76.7 <sup>a</sup>	2.47	<0.01
gFDA/PV <sup>0.75</sup> /día	35.3 <sup>ab</sup>	31.0 <sup>b</sup>	37.4 <sup>ab</sup>	41.0 <sup>a</sup>	1.36	<0.01
Consumo Dieta Base						
gMS/PV <sup>0.75</sup> /día	68.9 <sup>a</sup>	47.4 <sup>b</sup>	58.8 <sup>ab</sup>	62.1 <sup>a</sup>	2.61	<0.01

Medias con diferente literal en la misma fila son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05). <sup>1</sup>TC = Tratamiento control, heno de *B. brizantha* (HBb); TH = 80% HBb mas 20% de heno tratado (NaOH) al 10%; TL = 80% HBb mas 20% de *L. leucocephala*; PT = 80% HBb mas 20% de *P. purpureum*; EE = Error estándar.

El frijol terciopelo (*Mucuna pruriens utilis*) es otro recurso disponible regionalmente para mejorar la utilización del forraje mediante la suplementación. Este frijol presenta un gran potencial agronómico ya que se ha demostrado su capacidad para mejorar la fertilidad de los suelos al depositar una gran cantidad de biomasa al suelo, rica en nitrógeno (Eilitta *et al.*, 2002). Además, su rendimiento de grano duplica la del maíz en cultivos de temporal; se puede asociar al cultivo del maíz y obtener dos cosechas en el mismo ciclo agrícola (Castillo, 2006). Una gran ventaja del cultivo al temporal es que la cosecha se obtiene al inicio del periodo de sequía, cuando la cantidad y calidad del recurso forrajero disminuye en los ranchos. Este recurso ha sido evaluado nutricionalmente por nuestro grupo de investigación en bovinos, ovinos y caprinos con resultados favorables en todos los

casos (Ayala-Burgos *et al.*, 2003; Castillo-Caamal *et al.*, 2003; Sandoval *et al.*, 2003; Mendoza *et al.*, 2003), a pesar de reconocerse la presencia de factores antinutricionales en el frijol terciopelo, como taninos y, en particular, la L-Dopa (3,4-dihidroxi-L-fenilalanina). En el plano de la utilización de la *Mucuna* en la alimentación comercial de ovinos, se ha mostrado en un estudio reciente (Chay-Canul *et al.*, 2009) que los tiempos y costos de molienda, usualmente empleados en el procesamiento de granos con vainas voluminosas, como el frijol terciopelo, pueden ser reducidos hasta 270% sin deterioro del comportamiento productivo de los animales (Cuadro 4). Los ovinos consumieron y digirieron la misma cantidad de MS con solo emplear un esfuerzo masticación adicional mínimo (Cuadro 5).

La energía estimada para el trabajo de masticación adicional apenas representaría la energía para ganar de 3 a 4 gramos adicionales por día en borregos de 25 kg de peso vivo según los estándares del AFRC (1993). Sin embargo, al moler la vaina con grano de frijol terciopelo a tamaños de



**Figura 1.** Efecto de la carga animal sobre el consumo de bloque multinutricional durante 120 días en el oriente de Yucatán (Flores, 2009) durante la época de nortes (noviembre-febrero 2009).

partícula mayores a los convencionalmente usados en alimentos balanceados para ovinos (molino con cribas de 25 mm vs 3 mm), permite reducir el tiempo para moler una tonelada del frijol con vaina de 4:24 a 1:44

horas: minutos. Este ahorro en horas de trabajo se incrementa considerando la economía en energía eléctrica que reduce el consumo de 52 a 20.5 kwatt, es decir, el costo de la energía eléctrica consumida se redujo de 105 a 41.5 pesos (\$2.20/kw/h). Además, con este enfoque se reduce el desgaste de equipo de molienda y en suma se mejora la competitividad comercial del sector de ovinocultura de engorda, empleando insumos locales con un reducido costo por procesamiento de molienda.

Cuadro 4. Consumo de MS, MO, FDN, PC (g/kgPV<sup>0.75</sup>/día), digestibilidad de la MS y MO (g/kg MS), consumo de MS digestible, MO digestible (g/día) y energía metabolizable (EM) (MJ/día) en ovinos de pelo alimentados con frijol terciopelo y maíz con tres tamaños de partícula. (Chay-Canul *et al.*, 2009)

Parámetro	Tamaño de partícula de la dieta <sup>1</sup>			E. E.	P
	Pequeña	Mediana	Grande		
CMS	103.2	99.7	99.9	5.58	0.8855
CMO	98.3	94.9	95.2	5.34	0.8833
CFDN	32.7	33.1	32.1	1.83	0.9340
CPC	15.6	14.5	14.7	0.85	0.6207
DMS	734 <sup>b</sup>	782 <sup>a</sup>	769 <sup>ab</sup>	11.97	0.0507
DMO	728 <sup>b</sup>	777 <sup>a</sup>	764 <sup>ab</sup>	12.19	0.0483
CMSD	757.9	780.6	783.9	62.9	0.9508
CMOD	715.4	738.0	741.3	59.2	0.9451
CEM	10.4	11.1	10.9	0.18	0.0715

Medias con la misma literal en la misma fila son estadísticamente diferentes (Tukey) P < 0.05). CMS: Consumo de MS; CMO: Consumo de MO; CFDN: consumo de FDN; CPC: consumo de PC; DMS: Digestibilidad MS; DMO: Digestibilidad MO; CMSD: Consumo de MS digestible; CMOD: Consumo de MO digestible; CEM: Consumo de energía metabolizable.

<sup>1</sup>Tamaños de partícula de la dieta: Pequeña, Mediana y Grande, derivado del uso de molino de martillo con cribas de 3, 13 y 25 mm respectivamente.

Cuadro 5. Tiempo de consumo, rumia y masticación total (min/día) en ovinos de pelo alimentados con frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*) y maíz (*Zea mays*) con tres tamaños de partícula. (Chay-Canul *et al.*, 2009)

Actividad	Tamaño de partícula de la dieta			E. E.	P
	Pequeña	Mediana	Grande		
Consumo	158	204	242	26.16	0.2200
Rumia	250	328	320	24.35	0.1834
Masticación total	408	532	562	35.06	0.0995*

\*Tendencia lineal (valor de P=0.0522)



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En las regiones tropicales los pastos presentan restricciones nutricionales intrínsecas; además, la dificultad de pastos tradicionales (Guinea, Estrella) del estado para mantener su cobertura ha permitido al pasto *B. brizantha* ganar presencia debido a su fácil establecimiento, adaptación a suelos pobres y persistencia en la pradera. No obstante, la tasa de degradación del pasto *B. brizantha* en el rumen es baja, lo que explica la baja preferencia animal, consumo voluntario y en consecuencia la menor productividad animal en sistemas basados en *B. brizantha*. Se han explorado alternativas para mejorar el aprovechamiento del *B. brizantha*. El uso de pequeñas cantidades de forraje tierno (20% del consumo de MS) como el Taiwán ha demostrado estimular el consumo voluntario animal y es una opción viable para muchos ganaderos del estado de Yucatán. Otra alternativa como el uso de bloques multinutricionales también evidenció que se puede simplificar el manejo de la suplementación permitiendo al animal autorregular el consumo de suplemento y hacer un uso más eficiente de los recursos alimentarios locales. En el uso de recursos regionales como el frijol terciopelo, hay avances en el plano comercial. Usando al ovino como modelo, se ha demostrado que se puede usar la eficiencia de masticación del animal para disminuir gastos del procesamiento de alimentos con grandes ventajas económicas. Esto es relevante para la ovinocultura de Yucatán ya que la actividad tiene un crecimiento acelerado pero con alta dependencia en insumos externos. En conclusión, se muestra que la evaluación de recursos locales permite diseñar mejores estrategias de uso para corregir las limitantes para la producción de rumiantes en regiones tropicales derivadas de la baja calidad del recurso forrajero basado en gramíneas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ayala B.A.J., Cetina G.R.H., Capetillo L.C., Zapata C.C. y Sandoval C.C. (2006). Composición químico-nutricional de árboles forrajeros. Publicación FMVZ-UADY, Mérida, Yucatán México. ISBN: 970-94223-2-4. 55 pp.
- Ayala-Burgos A.J., Herrera-Díaz P.E., Castillo-Caamal J.B., Rosado-Rivas C.M., Osorno Muñoz L. and Castillo-Caamal A.M. (2003). "Rumen Degradability and Chemical Composition of the Velvet Bean (*Mucuna spp.*) Grain and Husk". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 1:71-75.
- CAPAAT (2000). Marco de referencia del Departamento de Nutrición Animal. Documento interno. FMVZ-UADY, Mérida, Yucatán, México
- Castillo C.J.B. (2006). Evaluación de leguminosas herbáceas como coberturas asociadas al maíz de temporal durante tres ciclos agrícolas en Yucatán. Tesis de doctorado en Ciencias Agropecuarias. FMVZ-UADY, Mérida, Yucatán, México
- Castillo-Caamal A.M., Castillo-Caamal J.B. and Ayala-Burgos A.J. (2003). "Velvet Bean (*Mucuna spp*) Supplementation of Growing Sheep Feed with a Basal Diet of Napier Grass (*Pennisetum purpureum*)". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 107-112
- Chay-Canul A., Ayala Burgos A., Kú Vera J., Magaña Monforte J. (2009). "Efecto del tamaño de partícula sobre, consumo, digestibilidad y balance del nitrógeno en ovinos Pelibuey alimentados con dietas basadas en frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*) y grano de maíz". En revista electrónica: *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10: 383-392.
- Eilitta M., Bressani R., Carew L.B., Carsky R.J., Flores M., Gilbert R., Huyck L., StLaurent L. y Szabo N.J. (2002). "*Mucuna* as a food a feed crop: an overview". En: *Food and feed from Mucuna: Corrent uses and the wy forward. Proceedings of an international workshot*. Edts. Flores M., Eilitta M., Myhrman R. Carew L.B. and Carsky R.J. Published by CIDICCO Tegucigalpa, Honduras. Pp18-46
- Flores Ch.S.A. (2009). Efecto de la carga animal sobre la disponibilidad y calidad del forraje de *Bachiararia brizantha* y su efecto en el comportamiento productivo de toretes en el oriente de Yucatán. Tesis de Maestría en Producción Animal Tropical, opción Nutrición. FMVZ-UADY, Mérida, Yucatán, México.
- Grajales Z.R., Ramírez A.L., Ayala B.A., y Sánchez M.B. (2006). "Caracterización de la degradación de *Brachiararia brizantha*". Edts. Ma. E. Velasco Z., A. Hernández Garay, R.A. Perezgrovas G. y B. Sánchez M. (2006). En: *Producción y manejo de los recursos forrajeros tropicales*. (237 pp.) Editado por: Universidad Autónoma de Chiapas. Chiapas, México. Pag 98-118. ISBN: 970-95299-00.

- Grajales Z.R. (2004). Evaluación de la calidad nutritiva de *Brachiaria Brizantha* bajo tres presiones de pastoreo, durante la época de lluvia en el oriente de Yucatán. Tesis de Maestría en Producción Animal Tropical, opción Nutrición. FMVZ-UADY, Mérida, Yucatán, México.
- Latorre C.J.D. (2009). Alternativas de suplementación para incrementar la cinética ruminal y el consumo en bovinos alimentados con dietas fibrosas. Tesis de Maestría en Producción Animal Tropical, opción Nutrición. FMVZ-UADY, Mérida, Yucatán, México.
- Magaña J.G., Parra-Bracamonte G.M., Estrada-León R.J., Ku-Vera J.C. and Sosa-Ferreya C.F. (2009). "Caracterización del recurso genético animal en el diseño de sistemas sustentables de producción bovina en el trópico". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10: 85-94.
- Mendoza-Castillo H., Castillo-Caamal J.B. and Ayala-Burgos A.J. (2003). "Impact of *Mucuna* Bean (*Mucuna spp*) on Milk Production of Goats". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 93-96.
- Merlo M.F., Ramírez A.L., Ayala B.A., Kú V.J. (2008). "Rendimiento y composición química de *Brachiaria brizantha* (A. Rich) Staff a diferentes edades en dos épocas en el sureste de México". En: Memorias de V Reunión Estatal de Investigación Agropecuaria, Forestal y Pesca, efectuado el 21 y 22 de enero de 2008, Mérida, Yucatán, México.
- Merlo M.F.E. (2008). Rendimiento y valor nutritivo del *Brachiaria brizantha* a diferentes edades y épocas del año en Yucatán. Tesis de Maestría en Producción Animal Tropical, opción Nutrición. FMVZ-UADY, Mérida, Yucatán, México.
- Minson D.J. (1990). *Forage in ruminant nutrition*. Ed. Academic Press. USA. pp. 67-72.
- Sandoval-Castro C.A., Herrera-Díaz P.E., Capetillo-Leal C.M. and Ayala-Burgos A.J. (2003). "In vitro Gas Production and Digestibility of *Mucuna* Bean". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 77-80.
- Van Soest P.J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2ª edition. Cornell University. U.S.A. pp 337-353.



# CONTRIBUCIÓN DEL FRIJOL TERCIOPELO (*Mucuna sp.*) PARA REDUCIR LA INSEGURIDAD ALIMENTARIA EN ÁREAS TROPICALES

*J.B. Castillo-Caamal*<sup>1</sup>, *L.A. Sarmiento-Franco*<sup>1</sup>,  
*A.J. Ayala-Burgos*<sup>1</sup>, *A.J. Chay-Canul*<sup>2</sup>

**RESUMEN-** El frijol terciopelo (FT) es una leguminosa ampliamente difundida para su utilización en la agricultura de conservación, cultivada desde 1890 en la Unión Americana. En la década de 1990 se difundió en Asia, África y América Latina. Sin embargo, su impacto ha sido relativamente bajo, en parte, debido al poco conocimiento de su utilización en la alimentación animal. En esta revisión se describe el contexto en el cual se ha generado la tecnología de los cultivos de cobertura, en especial del FT. En el aspecto de su utilización se destacan los hallazgos más sobresalientes de la calidad nutricia, composición química, digestibilidad, degradación, utilización en la alimentación animal, la presencia de compuestos secundarios y su impacto en la salud animal y humana, por el consumo de la carne de los animales alimentados con FT. Por la factibilidad de la producción en ambientes estacionalmente húmedos de los trópicos, es una opción alimenticia en la producción animal; por su calidad nutricia, es posible sustituir granos y cereales de importación con resultados productivos similares. Las evidencias indican la ausencia de compuestos secundarios en la carne de borregos y gallinas por la ingestión del FT. En consecuencia, es una opción productiva para áreas tropicales marginales,

1 Cuerpo Académico de Producción Animal en Agroecosistemas Tropicales (CAPAAT). Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. Km. 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil CP. 97100 Mérida, Yucatán, México.

2 Estudiante del programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán.

pero se requiere del apoyo institucional para facilitar su integración a una mayor escala en los sistemas de producción.

**Palabras claves:** frijol terciopelo, cobertura, trópicos, calidad nutricia, alimentación animal, compuestos secundarios

**SUMMARY-** Velvet bean is a widely known legume for its utilization in conservative agriculture; it has been cultivated in USA since 1890. From the year 1990 it was spread to Asia, Africa and Latin America; however its impact has been relatively low, due to the little knowledge available for its utilization in animal feeding. In the current document the context on the generation of technology for covering crops, particularly for velvet bean is explained. Other aspects regarding velvet bean such as its chemical composition, digestibility, anti-nutritional factors and animal feeding are also described. Velvet bean is an outstanding legume because its available yielding in tropical humid environment as an alternative ingredient for animal production; due to its nutritional quality it can replace imported cereals with similar results. There is some evidence showing no secondary compounds in sheep and poultry fed velvet bean. Consequently, velvet bean constitute a productive choice in marginal tropical areas; however in order to integrate such as crop to higher level into the production systems governmental support would be necessary.

**Key words:** velvet bean, cover crops, nutritional quality, animal feeding, secondary compounds

## INTRODUCCIÓN

La Península de Yucatán (PY) se ubica en el sureste de México, corresponde a una región tropical del país. La PY presenta un gradiente de menor a mayor precipitación pluvial de norte a sur, con lluvias que inician en mayo y finalizan hacia octubre. La temperatura es relativamente constante por el territorio peninsular con media de 26 °C. La diversidad de suelos es amplia, aunque existe un predominio de las asociaciones de *leptosoles*, cuya característica básica es su poco desarrollo (Bautista *et al.*, 2005). En esta condición se realiza la milpa bajo el sistema de roza, tumba y quema (RTQ), actividad milenaria desarrollada por los pobladores mayas (Morley, 1981).

El sistema RTQ se encuentra difundido en países tropicales y subtropicales del mundo, distribuida en 36 millones de km<sup>2</sup>, representa alrededor de 30% de las tierras aprovechables (Brady, 1994). Este sistema se practica en áreas con limitado acceso a fertilizantes químicos; los árboles participan en el ciclaje de nutrientes a través de su extracción desde las capas profundas del suelo hacia la superficie, donde al tumbarse y quemarse la vegetación, se cultiva por corto tiempo (Jou y Manu, 1994).

En RTQ, los nutrientes del suelo se incrementan después de quemar la vegetación; no obstante, luego ocurre una disminución rápida de éstos (Kleinman *et al.*, 1995; Pool y Hernández, 1995). De igual modo, a partir del segundo año de cultivo el terreno es colonizado por una alta cantidad de arvenses; fenómenos que provocan la paulatina reducción del rendimiento del maíz, que desciende de 1,500 kg ha<sup>-1</sup> a 300 kg ha<sup>-1</sup> de grano (Mariaca, 1992; Caamal *et al.*, 2001; Weisbach *et al.*, 2002). El problema se empeora por la disminución progresiva del periodo de barbecho de la vegetación, que impacta aún más la capacidad productiva del sistema milpero, al no restaurarse completamente los nutrientes del suelo y propiciar una mayor incidencia de las arvenses (Caamal *et al.*, 2001; Cuanalo, 2004).

A pesar de este problema y otros de tipo socioeconómico, la agricultura milpera basada en RTQ, alcanzó 173,343 ha cultivadas en Yucatán en el año 2000 (INEGI, 2001); es de gran importancia para un numeroso sector de la población rural donde 67,000 productores dependen de la actividad en Yucatán (Sagarpa, 2003). En un intento por responder a la problemática de la reducción del periodo de barbecho y sus consecuencias en la productividad del sistema milpa, se han integrado algunos componentes de la agricultura industrial, tales como los herbicidas y fertilizantes (Kú, 1992) y maíces de alto rendimiento de grano, para áreas mecanizadas de Yucatán (Aguilar y Castillo, 1985). Si bien es cierto que estas opciones de la agricultura industrial incrementan los rendimientos, han tenido problemas de adopción en algunos casos; en otros casos, representan un elevado riesgo ambiental, en la salud de productores que manejan estos insumos y el de los consumidores. Estas opciones dependen en gran medida de insumos

no renovables como el petróleo, haciendo insostenible desde el punto de vista de la eficiencia energética estos sistemas de producción (Pimentel, 2009), además del impacto en los recursos naturales (Gliessman, 2002). En consecuencia, se presenta una reducción de la producción hasta en un 20%, en donde se incrementó hasta cuatro veces la producción agrícola (Welch y Graham, 1999). La agricultura industrial toda vez que busca maximizar la eficiencia económica desatiende factores socioeconómicos, como la equidad y la soberanía alimentaria de los países, desencadenando una serie de desigualdades económicas y condiciones de desnutrición de la gente (Gliessman, 2002).

Por otra parte, en la década de 1990 se promovió el uso de los cultivos de cobertura en diferentes partes del mundo, entre éstas, el sureste de México (Bunch, 1995; Flores-Barahona y Janssen, 2004), debido a sus atributos productivos y de servicios ambientales en los agroecosistemas. El manejo de la biomasa producida *in situ* donde se pretende usar, es el elemento clave de los cultivos de cobertura, por su facilidad de producción y además de ser de bajo costo, en beneficio del cultivo principal (Bunch, 1995; Buckles y Triomphe, 1999; Flores y Janssen, 2004). En este sentido, existen sistemas tradicionales de coberturas en regiones caracterizadas por una alta precipitación pluvial, pendientes fuertes y uso de leguminosas locales (Thurston, 1994; Flores-Barahona y Janssen, 2004). La mayor parte de los sistemas de coberturas son con base en el uso de leguminosas debido a que sus raíces establecen una simbiosis con las bacterias *Rizhobium* del suelo, contribuyendo así con una mayor cantidad del nitrógeno en los sistemas agrícolas, que los fertilizantes inorgánicos a nivel global (NAS, 1979)

El frijol terciopelo (*Mucuna sp.*), es la leguminosa más promovida en proyectos de desarrollo rural en Centroamérica, México, Ghana y Benin, donde se han distribuido semillas a miles de agricultores en los sistemas basados en el cultivo de maíz (Buckles, 1995; Flores y Janssen, 2004). En el sureste de Estados Unidos ocupó una gran extensión en sistemas de rotación con el cultivo de algodón y maíz (Tracy y Coe, 1918). Pero fue disminuyendo su cultivo a medida que los fertilizantes se hicieron disponibles a precios



accesibles, mientras que en Centroamérica se incrementó su adopción en plantaciones de cultivos perennes, en sistemas basados en maíz y como forraje para animales de carga (Buckles, 1995).

#### PROBLEMÁTICA Y MÉTODO DE TRABAJO

La Organización Mundial de la Salud y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en un informe emitido sobre los objetivos del Milenio, indican que la deficiencia energética y proteica afecta a cerca de 1200 millones de personas en el mundo (Ban Ki-moon, 2010). En el contexto local, en el sur de la República Mexicana, el problema de desnutrición alcanza índices de 48.8% a 72.1% (Chávez *et al.*, 2003); para el caso de Yucatán, la deficiencia proteica-energética se indica como el mayor problema que afecta a la población de niños en edad escolar de las comunidades rurales (Ramón-Canul *et al.*, 2009)

Existen también deficiencias de los elementos nutricios básicos como el hierro, que afecta severamente a 3 billones de personas en el mundo (Welch y Graham, 2004). Los cuatro micronutrientes más importantes y limitantes en la alimentación humana son el hierro, yodo, vitamina A y zinc; cuyas deficiencias se registran en un mayor número de personas en el mundo y no solo comprometen el sistema inmune, sino pueden causar también un retardo en el desarrollo del cerebro del nuevo ser cuando aún está en el útero, y hasta por dos años después del nacimiento (Welch, 2002). El hambre que padece la población se debe en su mayor parte a un menor acceso a los alimentos resultantes de su precio elevado, de las crisis financiera y económica mundiales que han reducido los ingresos y agravado el desempleo en el mundo (Ban Ki-moon, 2010).

#### **Utilización del frijol terciopelo en la agricultura**

El frijol terciopelo (FT) es una planta leguminosa herbácea que se cultivó en los estados maiceros y algodoneros de la Unión Americana desde 1890, fue manejado hasta en 5,000,000 de acres en rotación con el cultivo de

algodón, pues se aprovechó para la recuperación de la fertilidad del suelo (Tracy y Coe, 1918). Se cultivó también intercalado con el maíz; a pesar que el FT reducía el rendimiento del maíz, su valor como abono orgánico y para propósito forrajero fue mucho mayor de lo que eventualmente se perdía en el rendimiento de la gramínea (Tracy y Coe, 1918). No obstante, debido al auge de los fertilizantes a bajos precios y cultivos con alta concentración de nutrimentos como la soya, disminuyó paulatinamente su cultivo en la Unión Americana, llegando a desaparecer casi por completo en los sistemas de producción en 1960 (Buckles, 1995).

En la década de los 90 surgió un renovado interés por su cultivo en varias partes del mundo, como cobertura se ha difundido entre productores de escasos recursos de Centro América, Brasil y el Sureste de México en América Latina, debido a la necesidad de mejorar sus sistemas agrícolas, sobre todo aquellos que incluyen el maíz (Buckles y Barreto, 1996; Triomphe *et al.*, 1997). En el continente Africano y Asiático se ha diseminado también la tecnología de los cultivos de cobertura; en África se registró el 51% de los casos estudiados, mientras que para América Latina fue 42%, el restante correspondió al continente Asiático (Flores y Janssen, 2004). Una característica de importancia es que a pesar de haber una diversidad de sistemas y especies para cobertura, dentro de los cultivos principales, 66% de los casos registrados correspondió al cultivo de maíz (Flores y Janssen, 2004)

La difusión del FT en la Península de Yucatán (PY) se ha dado de modo paulatino desde 1990 en los sistemas de producción de las familias campesinas, en un esfuerzo por aliviar la problemática de la disminución de la capacidad productiva del sistema milpero. Sin embargo, la adopción de esta leguminosa se ha mantenido en una escala muy baja, cuya explicación parcial obedece a que se desconocen los usos adicionales que se le pueden dar (Arteaga *et al.*, 1997 Castillo *et al.*, 2003). Por ello se han destinado esfuerzos para incrementar el potencial de uso del FT (Eilittä *et al.*, 2003)

## RESULTADOS

### **Manejo del cultivo en los sistemas del sureste de México**

Uno de los atributos del FT es ejercer control eficiente sobre el crecimiento de las hierbas en los campos de cultivo de maíz (Caamal, 1995; Caamal *et al.*, 2001), de esta manera se puede reducir el número de jornales destinados para esta labor. Lo anterior es importante, pues la elevada incidencia de hierbas es una de las causas del abandono de los terrenos de cultivo, debido a que el número de jornales que se invierten en su control no se compensa con el rendimiento que se obtiene de los cultivos de la milpa.

Esta leguminosa tiene la capacidad de mejorar las propiedades y conservar la humedad del suelo, sostener el rendimiento de grano de maíz de 4 t ha<sup>-1</sup>, bajo un uso continuo del terreno con una precipitación de 3,000 mm anuales (Triomphe, 1996). En Yucatán, el rendimiento de grano de maíz se ha mantenido cerca de 1 t ha<sup>-1</sup>, manejando el FT como cobertura asociado al maíz. Sin embargo, de modo similar que en otras partes del mundo, una de las limitantes para la adopción de este cultivo es el desconocimiento acerca de los atributos adicionales a su función de cobertura.

### **Calidad nutricia**

#### *Composición química*

El grano de FT es rico en proteína cruda (PC), cuyos contenidos fluctúan de 330 a 380 g/kg MS (Siddhuraju *et al.*, 1996; Adebawale *et al.*, 2005; Siddhuraju y Becker 2005; Pugalenthi *et al.*, 2005). Además, la composición de aminoácidos de la proteína del FT presenta un buen balance (Adebawale *et al.*, 2005). El contenido de carbohidratos totales en el FT ha sido reportado en 526 g/kg (Siddhuraju *et al.*, 1996). Sin embargo, el contenido de fibra detergente neutra (FDN) en el FT es bajo, 198 g/kg MS (Matenga *et al.*, 2003); esto explica porque se puede considerar también al FT un recurso rico en energía, con 19.2 a 19.4 MJ EB/kg MS (Siddhuraju *et al.*, 2000; Pugalenthi *et al.*, 2005;). Siddhuraju *et al.* (2000) y Chaparro-Acuña

(2009) reportan bajos valores de grasa en FT (28 a 50 g/kg MS). El contenido de cenizas en el grano de FT varía de 33 a 55 g/kg MS (Pugalenthi *et al.*, 2005). El potasio es un mineral abundante en el grano del FT, cuyos valores alcanzan hasta 15.6 g/kg MS; mientras que el fósforo tiene valores de 2.05 g kg<sup>-1</sup> MS (Castillo y Caamal, 2010; en prensa).

El FT producido en los suelos Leptosoles de Yucatán, México, presenta valores de PC de 257 y 37 g<sup>-1</sup> MS para grano y vaina del FT, respectivamente (Ayala *et al.* 2003; Chay, 2007). La composición química de las diferentes fracciones del FT se presenta en el Cuadro 1. Los valores reportados MS, PC, grasa, cenizas y FDA son similares a los reportados por Chikagwa-Malunga *et al.* (2009a). La relación entre los componentes morfológicos de la vaina y grano es un indicador valioso en la toma de decisiones, desde el punto de vista agronómico tiene utilidad para el rendimiento de la biomasa, mientras que en el manejo alimenticio, para valorar la calidad relativa. En este sentido, el FT producido en condiciones de temporal del estado de Yucatán se compone de 46% de vaina y 54% de grano en base seca (Chay, 2007).

**Cuadro 1.** Composición química (g kg<sup>-1</sup>MS) del fruto, grano y vaina del FT cosechado en Yucatán, México

<b>Fracción química</b>	<b>Fruto</b>	<b>Grano</b>	<b>Vaina</b>	<b>Fuente</b>
Materia seca (g/kg MF)	890.8	895.7	893.7	2
Proteína cruda	150.3	257.4	39.6	1 y 2
Grasa total	35.1	26.7	15.9	1 y 2
Fibra detergente neutra	492.2	271.3	620.1	1 y 2
Fibra detergente ácida	43.2	94.8	379.4	1 y 2
Lignina	ND	ND	77.5	1
N insoluble en detergente ácido	1.5	3.6	1.0	1 y 2
Cenizas	45.0	34.3	54.7	1 y 2
Calcio	ND	4.6	9.5	1
Fósforo	ND	2.4	0.3	1
Extracto libre de nitrógeno	ND	394.6	202	1
Fenoles totales	16.5	22.9	11.8	2
Taninos condensados	19.1	17.2	36.2	2

<sup>1</sup>Ayala *et al.*, 2003; <sup>2</sup>Chay, 2007

La concentración de PC del grano y del fruto integral del FT le confiere características deseables de un ingrediente idóneo en la elaboración de dietas para la suplementación de rumiantes (Ayala *et al.*, 2003). Por ello, su cultivo se ha incrementando cada vez más en las regiones tropicales (Flores y Janssen, 2004). En este sentido, el FT es un recurso que contribuye a reducir la dependencia de los granos de importación (Pugalenthi *et al.*, 2005), debido al aporte que hacen sus contenidos de proteína cruda y carbohidratos (Ayala *et al.*, 2003; Ezeagu *et al.*, 2003; Adebowale *et al.*, 2005; Siddhuraju y Becker, 2005; Chay, 2007; Chikagwa-Malunga *et al.*, 2009b). Este potencial se ha evaluado en dietas para ovinos en la fase de crecimiento (Pérez *et al.*, 2003; Castillo *et al.*, 2003b; Chay, 2007; García; 2009; Chikagwa-Malunga *et al.*, 2009a) y en cabras lactantes (Mendoza *et al.*, 2003), con resultados positivos, reemplazando desde niveles bajos hasta 60% del alimento comercial. En la nutrición de animales monogástricos, el grano de FT puede constituirse en un ingrediente para la preparación del alimento balanceado de aves y cerdos; no obstante, se requiere de ciertos tratamientos para optimizar el aprovechamiento (Duque, 1993; Trejo *et al.*, 1999; Castillo, 2001; Carew y Gernat. 2006; Ruiz-Sesma *et al.*, 2009), con niveles de inclusión de 15 hasta 30% en la dieta de estos animales. Recientemente, se ha explorado como una fuente de PC en la alimentación de peces obteniendo resultados promisorios (Pugalenthi *et al.*, 2005).

## **Digestibilidad, degradación ruminal y consumo**

### *Degradación y digestibilidad*

La degradación *in situ* del grano y la vaina del FT indica un balance prometedor para la alimentación de rumiantes, pues el grano de esta planta presenta contenidos elevados de PC y carbohidratos, altamente disponibles en el rumen, como fuentes de energía y de nitrógeno fermentable para los microorganismos de éste (Ayala *et al.*, 2003; Sandoval *et al.*, 2003). El contenido de energía metabolizable (EM) del FT asciende a 12.6 y 9.7 MJ por kg de MS, para el grano y fruto, respectivamente (Loyra, 2007). A través de la técnica *in vitro*, Sandoval

*et al.* (2003) indican valores de 13.9 y 11.1 MJ de EM/kg MS, para grano y vaina, respectivamente.

Por otra parte, la digestibilidad *in vitro* indica valores de 98% y 96% para la MS y MO del grano del FT (Sandoval *et al.*, 2003). Mientras que con la técnica de la digestibilidad *in vivo*, los valores son 90% y 82%, para la MS y PC; y la digestibilidad aparente de la energía bruta fue 87% (Loyra 2007). En sentido similar, la degradación ruminal de la MS en grano y vaina del FT destacan con un potencial de la degradación de 100% y 94% para grano y vaina, respectivamente (Ayala *et al.*, 2003). Aunque, a las 36 h post incubación el grano alcanzó la degradación completa, a diferencia de la vaina que a las 72 h solo presentó 85% de degradación. Estos indicadores directos e indirectos del aprovechamiento de los nutrimentos permiten valorarlos como fuente energética y proteica, con posibilidad de sustituir el sorgo y la soya (Sandoval *et al.*, 2003; Chikagwa-Malunga *et al.*, 2009b).

#### *Compuestos secundarios*

A pesar de los atributos nutricios promisorios del FT, su utilización en la alimentación humana y animal es limitada, debido a la presencia de varios compuestos secundarios, los cuales reducen el aprovechamiento de los nutrimentos (Duke, 1981; Pugalenthi *et al.*, 2005). Así, se ha determinado la presencia de L-Dopa, que le confiere resistencia a plagas y patógenos al grano almacenado, o protege a la planta cuando está en proceso de cultivo (Machuka, 2000). Adebowale *et al.* (2005) y Adebowale, y Lawal (2003) mencionan que la digestibilidad y utilización de la proteína de esta leguminosa es baja, debido a la composición de ésta y a la presencia de inhibidores de tripsina y quimotripsina, fenoles y lectinas. En consecuencia, limitan el uso del grano en la alimentación de monogástricos cuando se ofrece sin tratamiento, lo cual sugiere la necesidad de la detoxificación para la alimentación humana y animal (Nava *et al.*, 1999). La concentración de los compuestos secundarios, se asocia a la variabilidad genética de esta leguminosa (Capo-Chichi *et al.*, 2003). Por ejemplo, dentro de

diferentes accesiones, *Mucuna pruriens* presenta mayor concentración de fenoles totales; por el contrario, L-Dopa se concentra en menor cantidad (Adebowale *et al.*, 2005). En esta línea de trabajo se ha determinado que las accesiones de FT Ciclo Corto, Rajada y Ghana acumulan menor concentración de L-Dopa (Capo-Chichi *et al.*, 2003).

Por lo tanto, para manejar el FT, cuyos compuestos secundarios son elevados, requiere procesar el grano para reducir su presencia (Bhat 2008; Bhat y Karim 2009). Por otra parte, existe también la posibilidad de manejar la variabilidad genética, utilizando accesiones con menores concentraciones de estos compuestos (Capo-Chichi *et al.*, 2003). Respecto al procesamiento, la cocción puede reducir el contenido de L-Dopa en 52% y mejorar la digestibilidad del grano del FT en gallinas (Dahouda, 2008; Dahouda, 2009). Asimismo, la inmersión del grano en agua por 24 horas o su remojo por 24 h con adición de cal hidratada al 4%, disminuyen el contenido de fenoles totales, mejoran el consumo del alimento en 65% e incrementan la ganancia de peso en 108% en cerdos, respecto al testigo (Ruiz-Sesma *et al.*, 2009). Pérez-Hernández *et al.* (2003) realizaron un trabajo de corto plazo en ovinos sometidos a un consumo de 100% de FT, cuyos resultados permitieron observar ausencia de signos asociados con dichas sustancias. Chikagwa-Malunga *et al.* (2009c) y Dahouda *et al.* (2009) al evaluar las canales de ovinos y gallinas encontraron ausencia de acumulación de L-Dopa en la carne, concluyendo que la carne de los animales alimentados con dietas que contienen FT es segura para el consumo humano.

#### *Utilización en la producción animal*

En Estados Unidos, desde 1890 se documentaron experiencias en la alimentación del ganado bovino y porcino, para reducir el costo del alimento (Tracy y Coe, 1918). Ezeagu *et al.* (2003) reportan que el género *Mucuna*, además de ser un excelente cultivo de cobertura, puede proveer grandes cantidades de ingredientes para la alimentación animal y de esta forma reducir los costos de producción y ahorrar otros

productos proteicos de consumo humano, que de otra forma serían consumidos por el ganado. Siddhuraju y Becker (2005) indican que el grano de esta especie ha servido para la alimentación humana en zonas rurales de la India, África y Latinoamérica; también sus frijoles han sido utilizados en comunidades indígenas con fines medicinales. Por otro lado, mencionan que esta especie tiene rendimientos considerables en sistemas de producción con suelos de baja fertilidad, en los cuales la mayoría de las leguminosas alimenticias no podrían crecer.

Un aspecto de importancia en áreas del trópico subhúmedo es que la cosecha del FT coincide con la estación más crítica del año, la sequía, pues la disponibilidad y la calidad de los forrajes disminuyen. En consecuencia, se incrementan los precios de los insumos utilizados en la dieta de los animales; en este contexto el FT representa una amplia posibilidad al combinar su disponibilidad en la época seca del año y su elevada calidad nutricia (Castillo *et al.*, 2003; Ayala *et al.*, 2003). Recientemente, con la crisis financiera mundial y la decisión de algunos países de elaborar biocombustibles con granos y cereales, se ha tenido un mayor impacto en los precios de estos insumos para la alimentación humana y animal. Por lo tanto, el FT debe jugar un papel clave en los sistemas de producción en áreas del trópico subhúmedo, en especial en aquellas con restricciones ambientales y socioeconómicas. Por ejemplo, se puede cultivar en áreas con 800 mm de precipitación anual, requiere bajos insumos para su cultivo, es tolerante a plagas y enfermedades, su manejo se adapta con facilidad al cultivo de maíz, el cereal más utilizado como cultivo principal en Asia, Africa y America Latina (Flores y Janssen, 2004).

En la utilización del FT con cabras lactantes, alimentadas a libertad por un periodo de 28 días, consumieron 870 g del fruto (equivalente al 70% del alimento total consumido), no se registraron signos de los efectos de los compuestos secundarios, ni detrimento en la producción y composición de la leche; la producción de leche fue similar a aquellas alimentadas con el forraje de *Brosimum alicastrum*



(Mendoza *et al.*, 2003). De manera similar, Castillo *et al.* (2003b) observaron ausencia de efectos deletéreos en ovinos en crecimiento, que consumieron hasta 500 g de fruto de FT, por un periodo de 84 días. Pérez *et al.* (2003) tampoco encontraron efectos negativos por los compuestos secundarios del FT en ovinos, al suplementarlos con 30% del consumo total de MS. En ovinos Pelibuey, en la fase de crecimiento, alimentados por un periodo de 21-27 días, con una dieta que contenía 54% de fruto integral de FT molido a tres tamaños de partícula, el consumo promedio fue 101 g/kgPV<sup>0.75</sup>/d, sin síntomas de efectos adversos (Chay-Canul *et al.*, 2009). Los resultados de la alimentación de rumiantes indican que se puede prescindir de tratamientos (Ayala *et al.*, 2003; Castillo-Caamal *et al.*, 2003; Mendoza-Castillo *et al.*, 2003). Al respecto, se ha determinado que los microorganismos del rumen intervienen al desdoblar los compuestos secundarios, evitando así la posibilidad de la intoxicación del rumiante al consumir FT en la dieta (Chikagwa-Malunga *et al.*, 2009c). Resultados de la utilización del FT e impacto de este en el comportamiento animal se indican en el Cuadro 2.

Los resultados obtenidos en la alimentación de cerdos desde el principio del siglo pasado fueron alentadores, con ganancias promedio de peso de 640 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, en un periodo de 90 días (Templeton, 1917). En Yucatán, la inclusión del FT tratado en la alimentación de cerdos es altamente promisorio. Así, la ganancia de peso de cerdos puede alcanzar de 652 a 810 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, al ser alimentados con el grano tratado del FT (Mora *et al.* 2005; Ruiz-Sesma *et al.* 2009).

**Cuadro 2.** Manejo del frijol terciopelo (*Mucuna pruriens var. utilis*) e impacto en la alimentación animal

Especie y etapa	Fracción utilizada, manejo y tratamiento	Resultados	Fuente
<b>Rumiantes</b>			
Ovinos en crecimiento	Grano rolado	El FT consumido se metaboliza extensamente, sin acumulación de L-Dopa a concentraciones tóxicas (<5 ng de L-dopa/g) en tejido muscular.	Chikagwa-Malunga <i>et al.</i> , 2009c
Ovinos en crecimiento	Fruto integral y grano molidos	Reemplazo parcial de ingredientes convencionales para la engorda de ovinos. La ganancia diaria de peso de 121 g/a/d con 40% de FT en la dieta total.	García, 2009
Ovinos en crecimiento	Fruto integral molido	Sustitución de concentrados convencionales sin afectar la digestibilidad. El consumo y la digestibilidad promedio fueron de 455 g de MS/a/d y 67%, respectivamente.	Pérez <i>et al.</i> , 2003
Ovinos en crecimiento	Fruto integral molido	Incremento del consumo hasta 495 g MS de FT/a/d y la GDP (60 g/d), conforme se incrementó el nivel de suplementación con FT.	Castillo-Caamal <i>et al.</i> , 2003

Cabras lactantes	Fruto integral sin moler	La producción promedio de leche de cabras suplementadas con FT (hasta 870 g/d) fue de 597 g/d.	Mendoza <i>et al.</i> , 2003
<b>Monogástricos</b>			
Pollos en crecimiento	Grano crudo y remojado con 0.2% de solución de bicarbonato (NaHCO <sub>3</sub> )	El reemplazo de la harina de soya con 40% de grano del FT sin detrimento del desempeño de las aves, tanto en la etapa inicial (1-21 días de edad) como en la final de crecimiento (22-42 días de edad). En la etapa inicial la GDP y la conversión alimenticia (CA) fueron en promedio 37.5 g/d y 1.99 g/g respectivamente lo que no difirió del grupo control. En la etapa final la GDP y CA fueron en promedio 47.3 g/d y 2.61 g/g respectivamente.	Vadivel and Pugalenthi, 2010
Gallinas de Guinea	Grano crudo, cocido o tostado	Sustitución de hasta 20% de soya por grano cocido o tostado de FT. La inclusión del grano de FT no afectó el peso de los animales a los 0 y 3 meses de edad (23.3 y 476 g en promedio respectivamente). La conversión alimenticia fue similar entre tratamientos entre los 0-3 y 3-7 meses (4.2 y 10.1 en promedio, respectivamente). Así mismo, los tejidos de la canal de las gallinas de Guinea, presentaron ausencia de L-Dopa (valores o niveles nulos).	Dahouda <i>et al.</i> , 2009
Cerdos en crecimiento	Grano remojado por 24 horas y adición de cal (Ca(OH) <sub>2</sub> )	El tratamiento de remojo del grano del FT incrementó el consumo de alimento en un 65%, en 108% la ganancia de peso, y en 21% la conversión alimenticia, respecto a la dieta con 25% de inclusión de FT sin remojar.	Ruíz-Sesma <i>et al.</i> , 2009

Pollos	Grano remojado y cocido	<p>El consumo de alimento (g/d) y la CA fueron similares (71.5 g y 1.84 g/kg respectivamente) entre el tratamiento control y el tratamiento con 20% de inclusión de FT remojado y cocido por 1 h en la fase de 7-35 días de edad de los pollos. El remojo y cocido por un una hora del grano del FT mejoro la eficiencia de utilización de la dieta para pollos, comparado con la inclusión de FT sin tratamiento.</p>	Tuleun and Igba, 2008
Pollos en crecimiento	Grano crudo, remojado y hervido	<p>La GDP de los pollos fue en promedio 1.03 veces mayor cuando el grano de FT se ofreció remojado, comparado cuando se ofreció crudo, así mismo fue 1.4 veces mayor cuando se ofreció hervido, comparado cuando se ofreció crudo. Se encontró que la inclusión de hasta 280 g de grano de FT /kg en la dieta afectó el comportamiento de los animales. Sin embargo, la utilización del grano de FT hervido mejoró el comportamiento de las aves comparado con las que fueron alimentadas con el grano sin tratar.</p> <p>El tratamiento del grano del FT mejoró el comportamiento de las aves, comparado con las que fueron alimentadas con el grano sin tratar.</p>	Trejo <i>et al.</i> , 2004

Estos resultados sugieren que la utilización del FT es segura, que los animales son capaces de aprovechar este valioso recurso, disponible en el periodo más crítico del año (Castillo *et al.*, 2003a; Mendoza *et al.*, 2003; Matenga *et al.*, 2003). Sin embargo, se requieren estudios de aplicación práctica, validados metodológicamente, para la implementación comercial de dietas basadas en FT (Chay, 2007).

#### LIMITACIONES Y OPORTUNIDADES

Una limitación del FT es la escasa disponibilidad de información sobre su utilización en los sistemas de alimentación de monogástricos. Por lo tanto, se deben de focalizar los esfuerzos en esta dirección. Desde el punto de vista de la producción, existe una amplia disponibilidad de germoplasma, lo cual sería valioso evaluar en diferentes localidades, con el fin de conocer el potencial de estos. Asimismo, es necesario el desarrollo de estrategias tendientes a hacer eficiente el aprovechamiento de este género en su cultivo y en la alimentación animal.

A pesar que la producción de FT requiere de bajos insumos externos, se debe de fortalecer el aspecto de su procesamiento, pues se demanda del apoyo institucional para un mínimo de infraestructura y así facilitar su aprovechamiento. Por ejemplo en la cosecha, el envasado del campo hacia los centros comunitarios, el molido, el envasado final, la transportación fuera de las áreas de producción hacia los centros de consumo, son etapas críticas. De ese modo, los productores generan un producto que pueden utilizar dentro de los propios sistemas de producción o bien orientarlos a la comercialización, obteniendo así ingresos para la adquisición de otros alimentos o bienes que se les hace imposible producir en su comunidad. Los atributos del FT permiten el desarrollo de una tecnología con un enfoque ecológico como cultivo de cobertura, pues no demanda pesticidas para su producción, generando así alimentos libres de contaminantes para la salud pública.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El FT combina la elevada calidad nutrimental para su utilización en rumiantes y el interés de su empleo como cultivo de cobertura para mejorar las propiedades del suelo en la milpa, al mismo tiempo responde a la escasez de forraje causado por la sequía, pues su producción coincide con esta temporada. No obstante, es urgente el apoyo institucional para fortalecer el proceso productivo, en lo que los tomadores de decisiones deberían de intervenir.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adebowale K.O. and Lawal O.S. (2003). "Foaming, gelation and electrophoretic characteristics of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) protein concentrates". *Food Chemistry*, 83: 237-246.
- Adebowale Y.A., Adeyemi A. and Oshodi A.A. (2005). "Variability in the physico-chemical, nutritional and antinutritional attributes of six *Mucuna* species". *Food Chemistry*, 89: 37-48.
- Aguilar C.G. y Castillo G.R.A. (1985). "Uxmal" V-527 y "peninsular" nuevas variedades de maíz para la península de Yucatán. Folleto Técnico No. 2. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones agrícolas de la Península de Yucatán. Campo Experimental de Uxmal.
- Arteaga L., Carranza T., Eilittä M., González M., Guerrero C., Guevara F., Herrera B., López A., Martínez F., Mendoza A., Narváez G., Puentes R., Reyes H., Robles C., Sohn I., Triomphe B. (1997). "El uso de sistemas de cultivo con plantas de cobertura en algunas comunidades del sureste de mexicano: Contexto, resultados y lecciones aprendidas". En: *Green Manures and Cover Crops for Smallholder Farmers in the Tropics and Subtropics*. April 6-12, Chapecó, Brazil.
- Ayala Herrera A.J., Castillo J.B., Rosado C.M., Osornio M. and Castillo A.M. (2003). "Rumen degradability and chemical composition of the velvet bean (*Mucuna spp.*) grain and husk". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 71-75.
- Ban Ki-Moon. (2010). [www.vanguardia.com.mx/.../hambruna\\_mundial.../478132](http://www.vanguardia.com.mx/.../hambruna_mundial.../478132). (Consultado 25 marzo 2010)

- Bautista F., Navarro-Alberto J., Manu A. y Lozano R. (2005). "Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en zonas de Karts reciente". En: Bautista Z.F. y Gerardo P.A. (eds). *Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán (Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales)*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. 282 pp. México.
- Bhat R. and Karim A.A. (2009). "Exploring the nutritional potential of wild and underutilized legumes". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8: 305-331.
- Bhat R., Sridhar K.R. and Seena S. (2008). "Nutritional quality evaluation of velvet bean seeds (*Mucuna pruriens*) exposed to gamma irradiation," *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 59: 261-278.
- Brady C.N. (1994). "Alternatives to slash-and-burn: A global Imperative". En: Sánchez P.A. y van Houten H (eds.). 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Supplement to Transactions. Alternatives to Slash-and-Burn Agriculture. Symposium ID-6. Acapulco, Mexico, July, 1994. pp. 3-14.
- Bressani R. (1985). "Nutritive Value of Cowpea". En: Singh S.R. y Rachie K.O. (eds.), *Cowpea, research, production and utilization*. Wiley, New York. Pág. 353-359.
- Buckles D. (1995). Velvetbean: "A new plant with a history". *Econ Bot.*, 49(1): 13–25.
- Buckles D. y Barreto H.J. (1996). Intensificación de sistemas de agricultura tropical mediante leguminosas de cobertura: Un Marco conceptual. CIMMYT/CIAT. Documento 96-06 Es.
- Buckles D. y Triomphe B. (1999). Adoption of mucuna in the farming system of northern Honduras. *Agroforestry Systems*, 47: 67-91.
- Bunch R. (1995). Principles of agricultura for the sumid tropics (An Odyssey of discovery). *ILEIA Newsletter for low external input and sustainable agriculture*, 11 (3): 18-19.
- Caamal M. J. A. (1995). El uso de leguminosas como cobertura viva y muerta para el control de malezas en el cultivo de maíz, como alternativa al sistema de roza-tumba-quema, en Yucatán, México. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Caamal-Maldonado J.A., Jiménez-Osornio J.J., Torres-Barragán A. y Anaya A.L. (2001). The use allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agronomy Journal*. 93:27-36.
- Carew L.B. and Gernat A.G. (2006). "Use of velvet beans, *Mucuna* spp., as a feed ingredient for poultry: a review". *World's Poultry Science Journal*, 62:131-144.

- Castillo J.B., Jiménez J.J., López A., Aguilar C., and Castillo A.M. (2003a). "Feeding mucuna beans to small ruminants of mayan farmers in the Yucatan peninsula, Mexico". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 113-117.
- Castillo-Caamal J.B. y Caamal-Maldonado J.A. (2010). "Efecto de la fecha de siembra del frijol terciopelo (*Mucuna sp.*) como cultivo de cobertura en el rendimiento de maíz". *Tropical and Subtropical Agroecosystem* (En prensa).
- Castillo-Caamal A.M., Castillo-Caamal J.B. y Ayala-Burgos A.J. (2003). "*Mucuna* bean (*Mucuna spp.*) supplementation of growing sheep fed with a basal diet of Napier grass (*Pennisetum purpureum*)". En: M. Eilittä, J. Mureithi, R. Muinga, C. Sandoval y N. Szabo (eds.). Increasing *Mucuna's* Potential as a Food and Feed Crop. Proceedings of an international workshop held September 23-26, 2002, in Mombasa, Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1 (2-3):107-112.
- Chaparro-Acuña S.P., Aristizábal-Torres I.D. y Gil-González J.H. (2009). "Composición y factores antinutricionales de las semillas del género *Mucuna*". *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 62: 4843-4853.
- Chavéz Z.M.C., Madrigal F.H., Villa A.R. y Guarneros S.N. (2003). "Alta prevalencia de desnutrición en la población infantil indígena mexicana. Encuesta nacional de nutrición 1999". *Revista Española de Salud Pública*, 77 (2): 245-255.
- Chay C.A.J. (2007). Consumo, digestibilidad y metabolismo del nitrógeno en ovinos de pelo alimentados con frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*) y maíz con tres tamaños de partícula. Tesis de Maestría en Producción Animal Tropical (Opción Nutrición). Universidad Autónoma de Yucatán.
- Chay-Canul A.J., Ayala-Burgos A.J., Kú-Vera J.C., Magaña-Monforte J.G. (2009). "Efecto del tamaño de partícula sobre, consumo, digestibilidad y balance del nitrógeno en ovinos Pelibuey alimentados con dietas basadas en frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*) y grano de maíz". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10: 383 – 392.
- Chikagwa-Malunga S.K., Adesogan A.T., Sollenberger L.E., Phatak S.C., Szabo N.J., Kim S.C., Huisden C.M., Littell R.C. (2009c). "Nutritional characterization of *Mucuna pruriens* 4. Does replacing soybean meal with *Mucuna pruriens* in lamb diets affect ruminal, blood and tissue L-dopa concentrations?" *Animal Feed Science and Technology*, 148: 124–137.
- Chikagwa-Malunga S.K., Adesogan A.T., Salawu M.B., Szabo N.J., Littell R.C., Kim S.C., Phatak S.C. (2009a). "Nutritional characterization of *Mucuna pruriens* 2. *In vitro* ruminal fluid fermentability of *Mucuna pruriens*, *Mucuna* l-dopa and soybean meal incubated with or without l-dopa". *Animal Feed Science and Technology*, 148: 51–67.



- Chikagwa-Malunga S.K., Adesogan A.T., Szabo N.J., Littell R.C., Phatak S.C., Kim S.C., Arriola K.G., Huisden C.M., Dean D.B., Krueger N.A. (2009b). "Nutritional characterization of *Mucuna pruriens*. 3. Effect of replacing soybean meal with *Mucuna* on intake, digestibility, N balance and microbial protein synthesis in sheep". *Animal Feed Science and Technology*, 148: 107–123.
- Cuanalo de la C.H.E. (2004). "La milpa sin quema en Yucatán". En: Rosales G.M., Solís F.I y Ayala S.A. (eds.). *Memorias Problemática campesina, retos y perspectivas de la investigación y el servicio para el mejoramiento de la milpa en Yucatán*. Mérida, Yucatán, México 6 y 7 de noviembre de 2003; p. 74. México.
- Dahouda M., Toleba S.S., Youssao A.K.I, Mama Ali A.A., Dangou-Sapoho R.K., Ahounou S.G., Hambuckers A. and Hornick J.L. (2009). "The effects of raw and processed *Mucuna pruriens* seed based diets on the growth parameters and meat characteristics of Benin local Guinea fowl (*Numida meleagris*, L)". *International Journal of Poultry Science*, 8: 882-889.
- Dahouda M., Toléba S.S., Youssao A.K.I., Hambuckers A., Dangou-Sapoho R., Martin G.B., Fillet M. and Hornick J.L. (2009). "Nutrient digestibility of *Mucuna* (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) bean in guinea fowl (*Numida meleagris*, L): Effects of heat treatment and levels of incorporation in diets". *British Poultry Science*, 50: 564- 572.
- Del Carmen J., Gernat A.G., Myhrman R., Carew L.B. (2002). "Evaluation of raw and heated velvet beans (*Mucuna pruriens*) as feed ingredients for broilers". En: Flores M., Eilittä M., Myhrman R., Carew L., Carsky R. (eds), *Proceedings of the International Workshop on Food and Feed from Mucuna: Current Uses and the Way Forward*, Tegucigalpa, Honduras, April 26–29, 2000. Honduras: CIDICCO, pp 258–271.
- Duke J.A. (1981). *Handbook of legumes of world economic importance*. Plenum Press, New York, USA.
- Eilittä M., Sollenbergër L.E., Littell R.C. y Harrington L.W. (2003). "On-farm experiments with maize-mucuna systems in the Los Tuxtlas Region of Veracruz, Mexico. I *Mucuna* biomass and maize grain yield". *Experimental Agriculture*. 39: 5-17.
- Ezeagu I.E., Maziya-Dixon B. and Tarawali G. (2003). "Seed characteristics and nutrient and antinutrient composition of 12 *Mucuna* accessions from Nigeria". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 129-139.
- Flores B.M. and Janssen M. (2004). "Survey of Green Manure/Cover Crop Systems of Smallholder Farmers in the Tropics". En: M. Eilittä, Mureithi J. and Derpsch R. (eds.). *Green Manure/Cover Crop Systems of Smallholder Farmers*, 285-301. Kluwer Academic Publisher. Netherlands.

- Flores-Barahona M. and Janssen M. (2004). "Survey of Green Manure/Cover Crop Systems of Smallholder Farmers in the Tropics". En: *M. Eilittä et al. (eds.), Green Manure/Cover Crop Systems of Smallholder Farmers*, 285-301.
- Gliessman S.R. (2002). *Agroecología. Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. Turrialba, Costa Rica. CATIE.
- Gracia G.A. (2009). Inclusión de la semilla y vaina integral de *Mucuna pruriens* en dietas para ovinos de pelo en crecimiento, en Yucatán, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2001). Anuario Estadístico del Estado de Yucatán.
- Josephine M.R, and Janardhanan K. (1992). "Studies on chemical composition and antinutritional factors in three germplasm seed materials of the tribal pulse". *Mucuna pruriens* (L.) DC. *Food Chem.*, 43:13-18.
- Jou A. y Manu A. (1994). "Chemical Dynamics in Slash-and-Burn Agriculture". En: Sánchez P.A. y van Houten H (eds.). 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Supplement to Transactions. Alternatives to Slash-and-Burn Agriculture. Symposium ID-6. Acapulco, Mexico, July, 1994. Pág. 63-77.
- Kleinman P., Pimentel D. y Bryant R. (1995). "The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 52: 235-249.
- Kú N.R. (1992). "La milpa yucateca y sus innovaciones técnicas". En: Zizumbo V. D., Rasmussen Ch., H., Arias R., L. M. y Terán C. S. (eds.). *La Modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad*. Ed. CICY-DANIDA Dinamarca. Mérida, Yucatán. 175. México.
- Loyra T.E.A. (2007). Digestibilidad de nutrientes y valor energético de *Mucuna pruriens* en ovinos Pelibuey. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Machuka J. (2000). "Characterization of seed proteins of velvet bean (*Mucuna pruriens*) from Nigeria". *Food Chem.*, 68: 421-427.
- Mariaca M.R. (1992). "El papel de la fertilidad del suelo en el sistema roza-tumba-quema". En: Zizumbo V. D., Rasmussen C. H., Arias R. M. L., Terán C. S. (eds.). *La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad*. DANIDA-CICY. Mérida, Yuc. Méx. pág. 215-226. México.
- Matenga V.R., Ngongoni N.T., Titterton M. and Maasdorp B.V. (2003). "Mucuna seed as a feed ingredient for small ruminants and effect of ensiling on its nutritive value". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 97-105.

- Mbuthia E.W. and Gachuri C.K. (2003). "Effect of inclusion of *Mucuna pruriens* and *Dolichos lablab* forage in Napier grass silage on silage quality and on voluntary intake and digestibility in sheep". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 123 - 128.
- Mendoza C.H., Castillo C., J. and Ayala B.A. (2003). "Impact of mucuna bean (*Mucuna spp*) supplementation on milk production of goats". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 93-96.
- Mora A.A., Belmar C.R. y Arméndariz Y.I.R. (2005). "Comportamiento productivo de cerdos mantenidos en pastoreo y alimentados con una dieta a base de sorgo-frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*)". *Rev. Unell. Cienc. Tec.*, 23: 26-34.
- Morley S.G. (1981). "Agricultura". En: Varguez Pasos L.A. (ed.). *La milpa entre los mayas de Yucatán*. Universidad de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. pp. 29-44. México.
- National Academy of Sciences (NAS) (1979). *Tropical legumes: Resources for the future*. Washington D. C. pp. 331.
- Nava R., Ruiz B., Belmar R. (1999). "Una reseña corta sobre el valor nutritivo y factores antinutricionales de frijoles de canavalia y terciopelo dados a cerdos". *Revista Computadorizada de Producción Porcina* 6.
- Nyambati E. M. and Sollenberger L.E. (2003). "Nutritive value of top-canopy herbage of *Mucuna* and *Lablab* relay cropped in maize in the sub-humid highlands of northwestern Kenya". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 81-86.
- Pérez H.F., Ayala B.A. and Belmar C.R. (2003). "Performance of growing lambs supplemented with *Mucuna pruriens*". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 119-122.
- Pimentel D. (2009). "Energy and human population growth (The role of agriculture)". En: Bohlen P. J. and House Gar (eds.). *Sustainable agroecosystem management (Integrating ecology, economics and society)*. CRC Press. 73-84.
- Pool N.L. y Hernández X.E. (1995). "Los contenidos de materia orgánica de los suelos en áreas bajo el sistema de roza-tumba-quema: Importancia del muestreo". En: Hernández X., Bello B.E. y Levy T.S. (eds.). *La milpa en Yucatán (un sistema de producción agrícola tradicional)*. Estado de México. Colegio de Postgraduados. Tomo I. pp. 109-124. México.
- Pugalenthi M., Vadivel V., Siddhuraju P. (2005). "Alternative food/feed perspectives of an underutilized legume *Mucuna pruriens* var. *Utilis-A* review". *Plant Foods for Human Nutrition*, 60: 201-218.

- Ramón-Canul L., Castellanos-Ruelas A., Betancur-Ancona D. y Chel-Guerrero L. (2009). "Relación de los factores socioeconómicos con los nutrimentales en niños preescolares desnutridos". *Revista de la Facultad de Ingeniería Química*, 49: 15-19.
- Ruiz-Sesma B., Belmar-Casso F.R., Mendoza-Nazar P., Rivera-Lorca J.A., Trejo-Lizama W., Herrera-Haro J.G., Rojas-Martínez R.I., Oliva-Llaven M.A., Bautista-Trujillo G.U., Pérez-Sato M. (2009). "Evaluación del frijol terciopelo (*Stizolobium deeringianum*) remojado, en dietas para cerdos en crecimiento". *Universidad y Ciencia*, 25(2):141-150.
- Sandoval C.A., Herrera P., Capetillo Leal C.M. and Ayala Burgos A.J. (2003). "In vitro gas production and digestibility of *Mucuna* bean". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 77-80.
- Siddhuraju P., Becker K., Makker H.S. (2000). "Studies on the nutritional composition and antinutritional factors of three different germplasm seed materials of an under-utilized tropical legume, *Mucuna pruriens* var. *utilis*". *J Agric Food Chem*, 48: 6048-6060.
- Siddhuraju P., Vijayakumari K., Janardhanan K. (1996). "Chemical composition and protein quality of the little known legume, velvet bean (*Mucuna pruriens* (L.) DC.)". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44: 2636-2641.
- Siddhuraju P., Becker K. (2005). "Nutritional and antinutritional composition, in vitro amino acid availability, starch digestibility and predicted glycemic index of differentially processed mucuna beans (*Mucuna pruriens* var. *utilis*): an under-utilised legume". *Food Chemistry*, 91: 275-286.
- Thurston D.H. (1994). "Historia de los sistemas de siembra con cobertura muerta o Sistemas de Tumba y Pudre en América latina". En: Thurston D. H. Smith M., Abawi G. y Kearl S. (eds.) *Los sistemas de siembra con cobertura*. CATIE Y CIIFAD; pp. 1-4.
- Tracy S.M. y Coe H.S. (1918). Velvet Beans. *Farmer's Bulletin* 962. United States Department of Agriculture. Washington D. C. 184
- Trejo L.W., Santos R., Hau E., Olivera L., Anderson S. and Belmar R. (2004). "Utilisation of mucuna beans (*Mucuna pruriens* (L.) DC ssp. *Deeringianum* (Bart) Hanelt) to feed growing broilers". *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 105 (2): 155-164.
- Triomphe B.L. (1996). Seasonal nitrogen dynamics and long-term changes in soil properties under the mucuna/maize cropping system on the hillsides on northern Honduras. Ph. D. Thesis. Cornell University.

- Triomphe B. (1997). "El uso de sistemas de cultivo con plantas de cobertura en algunas comunidades del sureste de mexicano: contexto, resultados y lecciones aprendidas". En: Green 165. *Manures and Cover Crops for Smallholder Farmers in the Tropics and Subtropics*. April 6-12, Chapecó, Brazil.
- Tuleun C.D. and Igba F. (2008). "Growth and carcass characteristics of broiler chickens fed water soaked and cooked velvet bean (*Mucuna utilis*) meal". *African Journal of Biotechnology*, 7 (15): 2676-2681.
- Vadivel V., Pugalenti M. (2010). "Studies on the incorporation of velvet bean (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) as an alternative protein source in poultry feed and its effect on growth performance of broiler chickens". *Tropical Animal Health and Production*, 42(7):1367-1376.
- Weisbach C., Tiessen H. y Jiménez-Osornio J. J. (2002). "Soil fertility during shifting cultivation in the tropical karst soils of Yucatan". *Agronomie*, 22:253-263.
- Welch R.M. (2002). "The impact of mineral nutrients in food crops on global human health". *Plant and Soil*, 247: 83-90.
- Welch R.M. and Graham R.D. (2004). "Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective". *Journal of Experimental Botany*, 55 (396): 353-364.



ISBN: 978-607-8191-42-0



9 786078 191420