

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia

PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LECHE DE GANADO BOVINO DE DOBLE PROPÓSITO EN EL NORTE DE VERACRUZ, MÉXICO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

EN PRODUCCIÓN ANIMAL



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA

ALMA VIRGEN ESCORZA CERVANTES



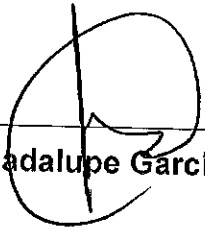
Chapingo, Estado de México, Diciembre de 2007

**"PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LECHE DE GANADO BOVINO DE
DOBLE PROPÓSITO EN EL NORTE DE VERACRUZ, MÉXICO"**

Tesis realizada por **ALMA VIRGEN ESCORZA CERVANTES** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

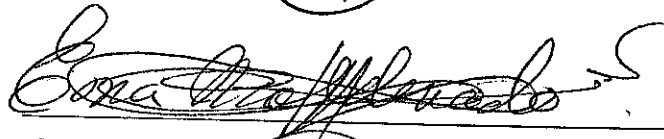
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR:



Ph.D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR:



Dra. Ema de Jesús Maldonado Simán

ASESOR:



Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde

ASESOR:



Ph.D. Maximino Huerta Bravo

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal, por darme la oportunidad de seguir superándome como profesionista y como persona.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero tan valioso para poder cumplir con esta meta en mi vida profesional.

Al Ph.D. José Guadalupe García Muñoz, por su gran apoyo, dedicación y esfuerzo en mi desarrollo profesional, pero sobre todo en mi vida personal.

A la Dra. Ema Maldonado Simán y al Ph.D. Maximino Huerta Bravo por sus acertadas sugerencias y aportaciones para la elaboración del presente trabajo.

Un profundo agradecimiento a los Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde y al Ph.D. Rafael Núñez Domínguez, por su esfuerzo, tiempo y sabios consejos para la realización de este trabajo, pero sobre todo, un gran agradecimiento por su apoyo moral. Gracias por ser excelentes personas, un gran ejemplo a seguir.

Un profundo agradecimiento a todos los profesores del Posgrado en Producción Animal, por contribuir en mi formación académica y brindarme su amistad.

A mis compañeros del Posgrado en Producción Animal, por brindarme su apoyo y amistad sincera.

Sinceramente, Alma V.

DEDICATORIAS

A Dios, por dejarme cumplir una meta más y por brindarme la oportunidad de conocer el verdadero valor de la amistad y sobre todo de la vida.

A mis padres José Trinidad Escorza Lara y Ana Lila Cervantes Fernández, por su amor y apoyo incondicional, por ser el estímulo principal para la culminación de esta meta. Gracias de todo corazón por ser mi mayor tesoro, mi objetivo de vivir, mi mayor orgullo. . . Gracias.

A mis hermanas Liliana, Perla, Blanca y Kenneth por todos esos momentos que hemos pasado, les dedico este trabajo por ser mis amigas, compañeras, hermanas incondicionales, piezas clave en el camino de mi vida.

A mis cuñados Israel, Iván, Juan, y Roberto, por sus sabios consejos y apoyo fundamental en mi vida.

A mis sobrinos Brenda, Karen, Ingrid, Lupita, Iván, Roberto y Yamily por poner un toque de alegría, inocencia y felicidad en todos los momentos que pasamos juntos.

A Enrique, por brindarme su amistad, amor y estar conmigo en todo momento. Por enseñarme a conocer el verdadero valor de las personas.

A ti, que estas en el cielo, por ser la principal motivación para cumplir esta y muchas metas más.

Alma V.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Alma Virgen Escorza Cervantes

Lugar y fecha de nacimiento: Distrito Federal, 24 de agosto de 1982.

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Cédula profesional: 4436692

Formación académica

1997-2000 Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

2000-2004 Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

2005-2006 Maestría en Ciencias en Producción Animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

ÍNDICE

	Pág.
LISTA DE CUADROS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO II.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Leche y su producción	4
Biosíntesis de leche	4
Componentes fisicoquímicos de la leche.....	11
Propiedades fisicoquímicas de la leche cruda asociadas con su composición.....	19
Factores de variación en la composición de la leche de vaca	20
LITERATURA CITADA.....	35
CAPÍTULO III.- CALIDAD DE LECHE DE GANADO BOVINO DE DOBLE PROPÓSITO EN VERACRUZ, MÉXICO	41
CAPÍTULO IV.- INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES EN LA CALIDAD DE LECHE CRUDA DE GANADO BOVINO DE DOBLE PROPÓSITO EN VERACRUZ, MÉXICO	63

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Precursores sanguíneos de los componentes de la leche de vaca.	6
Cuadro 2. Contenido de ácidos grasos en la leche de vaca.	14
Cuadro 3. Tipos de proteínas contenidas en la leche de vaca.	15
Cuadro 4. Composición fisicoquímica de la leche de distintas razas bovinas.	21
Cuadro 5. Pérdidas estimadas en producción de leche por día y por lactancia, asociadas con incrementos en la cuenta de células somáticas.	31
Cuadro 6. Estructura de la base de datos del estudio para evaluar la calidad fisicoquímica de leche cruda en 76 hatos de bovinos de doble propósito en el Norte de Veracruz, México.	47
Cuadro 7. Especificaciones de las normas nacionales vigentes para evaluar la calidad de leche cruda y pasteurizada.	52
Cuadro 8. Estructura de la base de datos editada del estudio para evaluar la calidad de leche cruda en hatos de bovinos de doble propósito en el Norte de Veracruz, México.	69
Cuadro 9. Estadísticos descriptivos para composición, producción diaria de leche y componentes, propiedades fisicoquímicas y concentración de metabolitos, días en leche y cuenta de células somáticas de la leche de ganado bovino de doble propósito.	75

Cuadro 10. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos principales, las interacciones de primer orden y de las covariables día de lactancia, producción de leche y porcentaje de genes europeos en el día de muestreo, sobre las variables de calidad de leche cruda de ganado bovino de doble propósito.....	76
Cuadro 11. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos principales, las interacciones de primer orden y de las covariables día de lactancia, producción de leche y porcentaje de genes europeos en el día de muestreo, sobre las variables propiedades fisicoquímicas y los contenidos de metabolitos y cuenta de células somáticas de leche cruda de ganado bovino de doble propósito.	77
Cuadro 12. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos principales, las interacciones de primer orden y de las covariables día de lactancia en el día de muestreo, sobre la producción diaria de componentes de la leche de ganado bovino de doble propósito.	78
Cuadro 13. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para las variables de concentración de componentes en la leche de ganado bovino de doble propósito.....	79
Cuadro 14. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para las variables de propiedades fisicoquímicas, metabolitos y cuenta de células somáticas de ganado bovino de doble propósito.....	80
Cuadro 15. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para las variables de producción de componentes en el día de muestreo de ganado bovino de doble propósito.....	81
Cuadro 16. Estimadores de componentes de varianza y del índice de constancia (r_e) para las variables analizadas.....	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distribuciones de frecuencia para las concentraciones de grasa y proteína en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México	54
Figura 2. Distribuciones de frecuencia para las concentraciones de sólidos no grasos y sólidos totales en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México.....	55
Figura 3. Distribuciones de frecuencia para las concentraciones de caseína y lactosa en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México. 56	56
Figura 4. Distribuciones de frecuencia para la proporción caseína:proteína en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México.....	57
Figura 5. Distribuciones de frecuencia para nitrógeno ureico en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México.....	58
Figura 6. Distribuciones de frecuencia para crioscopia y acidez en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México.....	59
Figura 7. Distribuciones de frecuencia para densidad en muestras de leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México.....	60
Figura 8. Distribuciones de frecuencia para cuenta de células somáticas en muestras de leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México .60	60
Figura 9. Efecto del día de lactancia en el día de muestreo sobre el porcentaje de sólidos totales (a) y grasa (b) de leche de vacas de doble propósito	85
Figura 10. Efecto del día de lactancia sobre la producción diaria de leche (a), sólidos totales (b), grasa (c), proteína (d) y lactosa (e) de leche de vacas de doble propósito	877
Figura 11. Efecto de la producción de leche en el día de muestreo sobre sólidos totales (a), grasa (b), proteína (c), caseína (d), crioscopia (e) y nitrógeno ureico en leche (f) de vacas de doble propósito.....	889
Figura 12. Efecto del porcentaje de genes europeos en el porcentaje de sólidos totales (a), sólidos no grasos (b) y crioscopia (c) en leche de vacas de doble propósito.....	90

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

En las regiones tropicales húmedas de México, la producción de leche se lleva a cabo fundamentalmente bajo el sistema de doble propósito tradicional con ordeño manual y el apoyo del becerro al pie de la vaca. Sin embargo, en los últimos años se ha extendido el uso de un sistema semitecnificado donde la vaca se ordeña mecánicamente, sin el apoyo del becerro y con la aplicación intramuscular de oxitocina para estimular la bajada de la leche. En ambos sistemas, la leche se comercializa bronca, a puerta de rancho a intermediarios o “boteros”, o directamente a las plantas o empresas transformadoras, las cuales exigen una determinada calidad de leche mediante el sistema de pago de premios o castigos.

La calidad de la leche comercial y de sus derivados, depende directamente de la calidad del producto original o materia prima proveniente de las zonas de producción, de las condiciones de transporte, conservación y manipulación que la leche sufre hasta llegar a la planta. La calidad de la leche se establece por medio de parámetros de la composición fisicoquímica y sanitaria, especificados en normas que establece cada país.

La composición fisicoquímica de la leche varía debido al efecto conjunto de factores ambientales, de manejo y del genotipo de animal, entre otros. Sheen y Riesco (2002) mencionaron que en la práctica, ciertos factores como la etapa de la lactancia, el estado fisiológico y el fotoperíodo resultan poco o nada

modificables por el productor, mientras que otros, como la alimentación, la sanidad y la genética, sí pueden ser manipulados.

La raza de la vaca es el factor que más influye en la producción y composición de la leche. El rendimiento anual de unas razas con respecto a otras puede ser del doble o triple; también las diferencias entre razas en el contenido de sólidos totales son considerables. La grasa es el elemento cuyo porcentaje es menos constante, mientras que la lactosa es el componente más estable (Veisseyre, 1988). Estudios realizados para evaluar los factores que influyen en la producción de leche en trópico húmedo, coinciden que el mejor comportamiento productivo lo presentan vacas F_1 de la cruce entre razas cebuínas y europeas especializadas para la producción de leche (García, 2005; Vite *et al.*, 2007).

En la actualidad, existen en México pocos estudios que hayan evaluado la calidad fisicoquímica de la leche de ganado bovino manejado en condiciones tropicales. Los pocos que existen son de clima templado y se caracterizan por haberse llevado a cabo en sistemas especializados y, muy frecuentemente, el único factor evaluado fue la cuenta de células somáticas (CCS). Los resultados de estos estudios muestran que la elevación de la CCS causa una reducción en la producción de leche, y también altera su composición. Este factor también afecta negativamente la calidad y cantidad de los productos lácteos elaborados con leche alta en CCS (Loor y Jones, 1998; Philpot, 2001). La CCS depende de factores del animal y del ambiente. Philpot (2001) menciona que los principales factores que afectan el contenido de células somáticas en leche son la edad, la etapa de la lactancia y el nivel de producción de leche de la vaca. Sin embargo,

no se han evaluado otros factores que influyen en la calidad fisicoquímica de la leche, como son el genotipo del animal, el número de lactancia, el mes de lactancia, entre otros.

En consideración con lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron evaluar la calidad fisicoquímica de leche de ganado de doble propósito del norte de Veracruz, México, y compararla con la normatividad nacional vigente, así como estimar el índice de constancia y evaluar los efectos de algunos factores ambientales sobre la producción, y concentración de componentes y metabolitos de la leche, propiedades fisicoquímicas y cuenta de células somáticas en hatos de bovinos de doble propósito del norte de Veracruz.

En el Capítulo II se presenta una revisión de literatura científica en la cual se resume información referente a la biosíntesis, composición y propiedades fisicoquímicas de la leche, así como los factores que influyen en la composición de la misma. En el Capítulo III se presenta un estudio en el que se evaluó la calidad fisicoquímica y la cuenta de células somáticas de la leche de ganado bovino de doble propósito, y se compararon con los estándares de la normatividad nacional vigente. Finalmente, en el Capítulo IV se presenta un segundo estudio en el cual se estimó el índice de constancia, y se evaluó el efecto de algunos factores ambientales en la concentración y producción de componentes de la leche, propiedades fisicoquímicas, concentración de metabolitos y la cuenta de células somáticas, en la leche de ganado bovino de doble propósito en el norte de Veracruz, México.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Leche y su producción

La leche es la secreción de las glándulas mamarias de mamíferos, cuya función en el animal es proporcionar nutrientes y protección inmunológica al recién nacido. La leche de todas las especies contiene más agua que otros componentes, y está constituida por una compleja mezcla que contiene mayoritariamente proteínas, lípidos, lactosa y minerales; y en menor proporción compuestos orgánicos solubles, incluyendo vitaminas hidrosolubles y sustancias nitrogenadas no proteicas. La grasa se encuentra en un estado de emulsión y las proteínas en estado coloidal molecularmente dispersas (Santos, 1995).

Biosíntesis de leche

Para producir leche, la glándula mamaria tiene que llevar acabo por lo menos tres funciones en sus células epiteliales: la primera es obtener energía para realizar su trabajo, donde la mitocondria juega un papel muy importante; la segunda es elaborar los elementos que no provienen de la sangre y que se requieren para la síntesis de leche, y la tercera es regular la cantidad de los diferentes elementos que integran la leche (Schmidt, 1971).

En el proceso de síntesis de la leche, la glándula mamaria depende del flujo sanguíneo para el suministro de energía y de los elementos precursores de la leche, así como de la capacidad con la cual ésta toma a esos precursores, y por lo tanto, depende de la rapidez con que la sangre fluya por la glándula mamaria. Se considera que por cada litro de leche producido deben pasar por la glándula mamaria alrededor de 500 litros de sangre, es decir un cociente de flujo de 500:1 (Rueda, 1990; Varnam, 1995). El cociente de flujo sanguíneo: rendimiento de leche aumenta a medida que avanza la lactancia y cuando el rendimiento decae por enfermedad (Schmidt, 1971).

Los precursores sanguíneos de los constituyentes de la leche se muestran en la Cuadro 1. El agua, los minerales y las vitaminas se transfieren directamente del plasma sanguíneo a la leche. La lactosa se sintetiza en la célula epitelial, fundamentalmente a partir de la glucosa; la caseína, la β -lactoglobulina y la α -lactoalbúmina se sintetizan en la célula epitelial a partir de aminoácidos libres. La seroalbúmina y las inmunoglobulinas no se sintetizan en la glándula mamaria, sino que se transfieren a la leche desde la sangre (Schmidt, 1971).

Los precursores de los ácidos grasos de hasta 16 átomos de carbono son el acetato y el β -hidroxibutirato. Una pequeña proporción de ácidos grasos de C_{12} y C_{14} proceden de ácidos grasos de 16 átomos de carbono presentes en el torrente sanguíneo. Los ácidos grasos de 18 átomos de carbono proceden de los triglicéridos de los quilomicrones y de las lipoproteínas de baja densidad de la sangre. El ácido palmítico se forma por la adición sucesiva de moléculas de

acetato. La mayor parte del ácido esteárico llega desde la sangre como tal y no se forma a partir de unidades de acetato o β -hidroxibutirato (Schmidt, 1971). La mayoría de los ácidos grasos no saturados se forman por deshidrogenación de los ácidos grasos saturados, particularmente del ácido esteárico. El glicerol, en su mayor parte se sintetiza en la glándula mamaria a partir de la glucosa, y sólo una pequeña parte procede de los triglicéridos de la sangre (Alais, 2001).

Cuadro 1. Precursores sanguíneos de los componentes de la leche de vaca.

Componente de la leche	Precursor sanguíneo
Agua	Agua
Lactosa	Glucosa
Proteína	
Caseína	Aminoácidos
β -lactoglobulina	Aminoácidos
α -lactoalbúmina	Aminoácidos
Seroalbúmina	Seroalbúmina de la sangre
Inmunoglobulinas	Inmunoglobulinas de la sangre
Grasa	
Ácidos grasos	Acetato, β -hidroxibutirato y lípidos sanguíneos
Glicerol	Glucosa y glicerol de triglicéridos
Minerales	Minerales sanguíneos
Vitaminas	Vitaminas sanguíneas

Fuente: Schmidt, 1971.

Agua

Schmidt (1971) señala que el agua de la leche se deriva parcialmente de los líquidos intracelulares ricos en potasio de las células epiteliales de los alvéolos y, del desplazamiento del agua de la sangre a la célula epitelial para mantener el equilibrio osmótico, como resultado de la síntesis de la lactosa, proteínas y grasas. Puesto que la leche está en equilibrio osmótico con la sangre, y la lactosa explica casi un tercio de la presión osmótica de la leche, un aumento de

la concentración de lactosa provoca un flujo de agua hacia el interior de la célula epitelial y una disminución del contenido de sodio y cloruro de la leche. Este proceso afecta la producción de leche, primordialmente porque el agua constituye el componente mayoritario de la leche.

Compuestos nitrogenados

Las proteínas de la leche se originan por síntesis a nivel del retículo endoplasmático rugoso de la célula epitelial mamaria, y también por el paso de algunas proteínas de la sangre mediante un proceso de difusión. Las proteínas específicas se sintetizan a partir de la captación de aminoácidos sanguíneos en un proceso de ensamblaje, similar al que ocurre en otros tejidos. Dichos aminoácidos provienen esencialmente de la digestión de la proteína bacteriana y sobrepasante en el intestino, por lo que en última instancia el papel de síntesis de proteína bacteriana en el rumen es un aspecto de mayor importancia en los rumiantes. Como consecuencia de este fenómeno, las proteínas de la leche son poco sensibles a las variaciones en la calidad de los alimentos dentro de ciertos rangos (Schmidt, 1971).

La síntesis de proteína láctea exige energía para activar las reacciones, así como una fuente de nitrógeno y depende sobre todo de la concentración energética de la ración. Si faltan aminoácidos, la síntesis de proteínas se detiene y con ella la de lactosa, con lo que la producción de leche disminuye (Santos, 1995). Varnam (1995) menciona que la síntesis de las proteínas de la

leche está regulada sobre todo por mecanismos hormonales y genéticos, en especial de las caseínas, α -lactoalbúmina y β lactoglobulina. El contenido de nitrógeno en la leche se distribuye entre las caseínas (76%), las proteínas del suero (18%) y el nitrógeno no proteico (6%); este último comprende urea y otras sustancias nitrogenadas no proteicas que típicamente provienen de la sangre.

Grasa

Alais (2001) reporta que la grasa láctea está compuesta en más del 96.4% de su peso por triglicéridos (50% de los ácidos grasos contenidos son de cadena corta C_4 - C_{14} y el otro 50%, corresponde a ácidos grasos de cadena larga C_{16} - C_{18}) y el resto corresponde a ésteres de colesterol, ácidos grasos libres y fosfolípidos. Los ácidos grasos de cadena corta se sintetizan en la glándula mamaria a partir de acetato y β - Hidroxibutirato, y los ácidos grasos de cadena larga proceden casi en su totalidad de los triglicéridos de los quilomicrones, y de las proteínas de baja densidad de la sangre. Schmidt (1971) reporta que en promedio, alrededor de 50% de los ácidos grasos de la leche proceden de la sangre, es decir, la riqueza y composición de la grasa láctea es influenciada por la nutrición y condiciones ambientales, por eso es que la grasa láctea es el componente más variable de la leche.

Depresión de la grasa en leche

La disminución del contenido porcentual de grasa láctea, asociada con los cambios en el contenido de proteína, lactosa y ácidos grasos en leche, producidos por vacas alimentadas con alto porcentaje de concentrado en la dieta, no está clara aún, Gaynor *et al.* (1995) describen dos teorías que explican la causa de la depresión de la grasa láctea. La primera es la teoría glucogénica, la cual establece que dietas con un alto porcentaje de concentrado en la dieta incrementan la producción y salida de propionato del rumen, lo que a su vez estimula la síntesis de glucosa hepática, incrementa la liberación de insulina y disminuye la liberación de somatotropina bovina (bST). Este resultado suprime la movilización de grasa del tejido adiposo e incrementa la competencia entre el tejido adiposo y el tejido mamario por glucosa, ácidos grasos no esterificados y triacilglicéridos, razón por la cual se deprime el contenido de grasa en leche. La segunda teoría, y más aceptada, explica que dietas altas en concentrado generan una gran producción del ácido graso *trans* 18:1, el cual reduce la síntesis de *novo* de ácidos grasos y la esterificación de ácidos grasos hacia el tejido mamario, con lo cual se reduce la síntesis de grasa en leche.

Lactosa

La lactosa es el azúcar de la leche, cuya síntesis y secreción está íntimamente relacionada con el volumen total de leche que producen los mamíferos. Schmidt (1971) menciona que la glándula mamaria de la vaca lechera retiene en

promedio 900 gramos de agua por cada 50 gramos de lactosa sintetizada. La glucosa es el principal precursor de la lactosa en la glándula mamaria: dos moléculas de glucosa entran a la célula epitelial por cada molécula de lactosa que se forma. Una de las unidades de glucosa se transforma en galactosa. La condensación de la molécula de lactosa se regula por la enzima lactosa sintetasa en el aparato de Golgi. La enzima lactosa sintetasa está compuesta por la proteína A, o galactosil transferasa, que se encuentra en diversos tejidos, y la proteína B, o alfa lactoalbúmina que se sintetiza por las propias células epiteliales del tejido mamario. La síntesis de la lactosa es posible solamente en presencia de la proteína A, pero la reacción exige entonces concentraciones elevadas de glucosa. La α -lactoalbúmina permite que se realice la reacción con cantidades de glucosa muy inferiores, por ello la tasa de síntesis de la lactosa está regulada por esta última.

Vitaminas y minerales

Las células secretoras de la glándula mamaria no pueden sintetizar vitaminas o minerales. Por consiguiente todas las vitaminas y minerales de la leche proceden de la sangre. El potasio, el cloro y sodio se encuentran en forma soluble; el calcio, fósforo y magnesio se encuentran solubles en un 50%, y el resto de los minerales están ligados a la porción coloidal de la caseína. El calcio procede de la dieta y del esqueleto.

El calcio del suero sanguíneo se encuentra en equilibrio con el del esqueleto, por lo cual es difícil aumentar el contenido de calcio en la leche incrementando el de la dieta (Schmidt, 1971).

Componentes fisicoquímicos de la leche

Agua

Shearer (1986) menciona que la leche contiene aproximadamente 84-88% de agua; el 12 a 16% restante son sólidos disueltos en ésta. Los sólidos disueltos son una parte muy importante de la fracción nutritiva de la leche, y están compuestos por grasas (2-6%), carbohidratos (4-5%), proteínas (3-4%), minerales y vitaminas (1%). Schmidt (1971) reporta que la cantidad de agua en la leche es regulada por la lactosa, que se sintetiza en las células secretoras de la glándula mamaria.

Sólidos totales

Los sólidos totales de la leche se componen de la fracción grasa, la proteína, la lactosa y los minerales. Shearer (1986) reporta que el valor nutricional y económico de la leche, se asocian directamente con la concentración de sólidos totales y éstos son indicadores de la riqueza de la leche para la elaboración de derivados lácteos.

Gasque y Blanco (1995) indican que la cantidad de sólidos totales depende de varios factores, entre los que destaca la raza de la vaca. Por ejemplo, la raza Holstein produce leche con 11.9% de sólidos, la Jersey con 14.5% y la Suiza con 13.4%.

Sólidos no grasos

Este es un término que se utiliza para describir el total de contenido de sólidos, menos la fracción grasa (Shearer, 1986). La cantidad de sólidos no grasos también depende de la raza de las vacas. Por ejemplo, las vacas de la raza Holstein producen leche con 84.8 g L⁻¹ de sólidos no grasos, las Jersey con 94.3 g L⁻¹ y las vacas Suizas con 94.0 g L⁻¹ (Gasque y Blanco, 1995).

Grasa

La grasa constituye desde el 2 hasta el 6% de la leche, dependiendo de la raza de la vaca y de las prácticas de alimentación. Una ración rica en concentrados que no estimula la rumia en la vaca, puede resultar en una caída en el porcentaje de grasa de la leche. Valores típicos de leche de vaca baja en grasa varían de 2.0 a 2.5% (Weeb, 1974). Santos (1995) indica que la grasa de la leche está compuesta por una mezcla de triglicéridos que constituyen de 95 a 98% de la grasa total, los cuales contienen más de 17 ácidos grasos. Otros componentes se encuentran en cantidades muy pequeñas, pero pueden ser importantes por sus propiedades organolépticas o desde el punto de vista

nutritivo. Entre ellos se encuentran las vitaminas liposolubles como A, D, E y K, y fosfolípidos como la cefalina y lecitina C (Varnam, 1995; Alais, 2001).

Ácidos grasos en leche

En promedio la grasa de la leche contiene aproximadamente 62.8, 30.7 y 2.9% de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, respectivamente. En total éstos representan el 96.4% de los ácidos grasos de la grasa de la leche; el 3.6% restante lo conforman ácidos grasos muy poco comunes. En el Cuadro 2 se muestra el porcentaje de los ácidos grasos en la leche de vaca (Alais, 2001).

Proteína

La cantidad de proteína en la leche varía de 3.3 a 4.0%. La fracción proteica de la leche está constituida por numerosas proteínas específicas (Cuadro 3), de las cuales la más importante es la caseína. La caseína, la β -lactoglobulina y la α -lactoalbúmina constituyen entre 90 y 95% de la proteína de la leche. Estas tres proteínas se sintetizan en la glándula mamaria, y en ellas se encuentran presentes más de veinte aminoácidos esenciales (Schmidt, 1971) Para la industria, el porcentaje mínimo de caseína relativo a la proteína total, es de 70% (COFOCALEC, 2004).

Cuadro 2. Contenido de ácidos grasos en la leche de vaca.

Ácido graso	% de la grasa total
<i>Saturados</i>	
Butírico	3.6
Caproico	2.3
Caprílico	1.2
Cáprico	2.2
Láurico	3.6
Mirístico	10.7
Pentadecanoico	1.7
Palmitico	25.9
Esteárico	10.1
Araquídico	0.7
Otros	0.8
Total	62.8
<i>Monoinsaturados</i>	
Miristoleico	1.0
Palmitoleico	1.9
Oleico	26.2
Otros	1.6
Total	30.7
<i>Poliinsaturados</i>	
Linoleico	2.0
Linolénico	0.7
Otros	0.2
Total	2.9
<i>Ramificados, hidrolizados, etc.</i>	3.6

Fuente: Alais, 2001

El interés tecnológico de la industria láctea reside sobre todo en la relación en la que están presentes las fracciones α_s , β y κ -caseína, ya que éstas son las que determinan la coagulación de las proteínas en la elaboración de los quesos. El porcentaje de proteína en leche varía con la raza de la vaca y está en relación directa con la cantidad de grasa en la leche. Existe una relación positiva entre la cantidad de grasa y la cantidad de proteína en la leche, ya que cuanto mayor es la cantidad de grasa, mayor es la cantidad de proteína (Varnam, 1995).

Cuadro 3. Tipos de proteínas contenidas en la leche de vaca.

Proteína	Porcentaje que representa en la proteína de leche descremada
Caseína α_s	45-55
Caseína β	8-15
Caseína κ	25-35
Caseína γ	3-7
α -lactoalbúmina	2-5
β -lactoglobulina	7-12
Seroalbúmina	0.7-1.3
Inmunoglobulina IgG	
IgG1	1-2
IgG2	0.2-0.5
Inmunoglobulina IgM	0.1-0.2
Inmunoglobulina IgA	0.05-0.1
Fracción proteasa-peptona	2-6

Fuente: Schmidt, 1971

Nitrógeno ureico de la leche

El nitrógeno ureico en leche (NUL) es el resultado de la difusión del contenido de urea del suero sanguíneo a través de las células secretoras de la glándula mamaria, constituyendo una fracción variable del nitrógeno total de la leche. Su contenido representa alrededor del 50% del nitrógeno no proteico y alrededor del 2.5% del nitrógeno total.

El NUL es una herramienta que sirve para diagnosticar la eficiencia de utilización del nitrógeno y de ciertos trastornos del comportamiento reproductivo de la vaca lechera (DePeters y Ferguson, 1992; Butler *et al.*, 1996; Hof *et al.*, 1997; Nousiainen *et al.*, 2004).

La conversión de amoníaco en urea por el hígado le cuesta al animal 12 kcal/g de nitrógeno excedente excretado (Van Soest, 1994; citado por Pedraza *et al.*, 2006). Sobrealimentar proteína genera una alta concentración de NUL, lo cual tiene un impacto negativo en la salud y la fertilidad de vacas lecheras.

El exceso de proteína en la dieta contribuye a la contaminación del medio ambiente, y aumenta los costos de producción de leche. Sin embargo, un suministro de proteína por debajo del requerimiento, también puede disminuir la fertilidad y la producción de leche de la vaca (DePeters y Ferguson, 1992).

Los valores apropiados para la concentración de NUL en leche de mezcla de un grupo de vacas están en el rango de 12 a 18 mg/100 mL, mientras que para muestras de leche de vacas individuales el rango respectivo es de 8 a 25 mg/100 mL. Valores de NUL menores a 12 mg/100 mL se consideran bajos para ambos casos, lo que indicaría un bajo contenido de proteína degradable de los alimentos. Por otro lado valores superiores a 25 mg/100 mL de leche se consideran niveles altos (DePeters y Ferguson, 1992). Butler *et al.* (1996) concluyeron que en vacas lecheras la tasa de preñez se reduce 20% con niveles mayores de 19 mg/100 mL.

Lactosa

La lactosa está compuesta por glucosa y galactosa. El poder edulcorante de la lactosa es inferior que el de la sacarosa, por lo que la leche no es muy dulce. La concentración varía entre 4.2 y 5%. El contenido de lactosa es generalmente

más bajo al final de la lactación y en la leche de animales con mastitis (Varnam, 1995). Basurto (2001) reporta que la lactosa es desdoblada por la acción enzimática de numerosos gérmenes, produciendo principalmente ácido láctico (desdoblamiento homofermentativo de la lactosa) y en menor proporción ácidos acético, propiónico, butírico y gases (desdoblamiento heterofermentativo). La leche aún cosechada en condiciones higiénicas, siempre contiene gérmenes que en forma variable evidencian en ella signos de acidificación. El aumento de la acidez no se desarrolla con carácter continuo, ya que es consecuencia de un proceso simultáneo, en el cual se desdoblan las proteínas y se generan productos alcalinos. Lerche (1969) menciona que la cantidad de ácido láctico producido siempre es un dato referencial a la frescura de la leche. La leche fresca tiene un grado de acidez de 11 a 13 °D.

Minerales

Los más abundantes en la leche de vaca son el calcio, fósforo, sodio, potasio, magnesio y cloro. Sus interacciones con las proteínas de la leche tienen importantes consecuencias para la estabilidad de la leche y los productos lácteos. En pequeñas cantidades se encuentran presentes hierro, yodo, cobre, manganeso y zinc (Varnam, 1995).

Scott *et al.* (2002) reportaron que en la industria, los minerales de primordial importancia son el calcio y el magnesio. El magnesio participa en la formación micelar y contribuye a que en la leche se alcance un equilibrio mineral estable. El calcio forma parte de la estructura del complejo caseínico.

Vitaminas

La leche contiene cantidades traza de vitaminas A, D, E, K, del complejo B y la vitamina C, todas ellas esenciales en la industria quesera y para el crecimiento del humano (Scott *et al.*, 2002).

Enzimas

Existen tres fuentes principales de enzimas de la leche: (a) las autóctonas de la leche presentes en el momento de la secreción, (b) las de los microorganismos presentes en el instante del ordeño (aquellos presentes en el conducto del pezón) y (c) las de los microorganismos que contaminan la leche después del ordeño y la subsiguiente manipulación del producto. Algunas de las enzimas microbianas permanecen activas en la leche después de la muerte y lisis de las células bacterianas, aunque con un bajo nivel de actividad pero que persiste largo tiempo (Friedrich, 2000).

Scott *et al.* (2002) mencionan que en general existen 40 enzimas, entre las que destacan lactoperoxidasa, ribonucleasa, lactasa, fosfatasa, lipasa, catalasa, galactasa y reductasa.

Propiedades fisicoquímicas de la leche cruda asociadas con su composición

Densidad

La densidad de la leche se define como la relación entre la masa y el volumen. Dependiendo de la naturaleza de las partículas en disolución que contenga, la densidad de la leche oscila entre 1.027 y 1.035 g cm⁻³ a 15 °C. El valor de la densidad depende de la concentración de los sólidos totales y de la temperatura ambiental; cuando varía la temperatura de fusión de la grasa, la densidad varía, y no se estabiliza sino hasta varias horas después del cambio de temperatura (Spreer, 1991).

Crioscopia

La crioscopia es el punto de congelamiento de la leche, el cual es afectado por la cantidad de sólidos disueltos en la leche. La crioscopia es la característica más constante de la leche y se utiliza para detectar adulteraciones con agua. Si el punto de congelación está por encima de -0.53 °C la leche ha sido adulterada con la adición de agua; sin embargo, los límites normales son de -0.53 a -0.56 °C (COFOCALEC, 2004).

Los constituyentes solubles (lactosa y sales) determinan el punto de congelación y son los responsables para que éste sea menor que el del agua (Spreer, 1991).

Factores de variación en la composición de la leche de vaca

La producción y composición de la leche son el resultado de la interacción de muchos elementos dentro de la vaca y su ambiente externo. Algunos constituyentes de la leche se encuentran en proporciones constantes (lactosa y minerales), mientras que otros como la grasa y la proteína varían de forma considerable. A continuación se describen los principales factores que afectan la producción y calidad de la leche de vaca.

Raza de la vaca

La raza de la vaca es un factor muy importante para la producción y la composición de la leche (Veisseyre, 1988). La composición fisicoquímica de la leche de distintas razas bovinas se presenta en el Cuadro 4. La raza Jersey es la que produce la leche con el mayor contenido de sólidos totales, mientras que Holstein es la que produce el menor contenido de sólidos totales.

Cuadro 4. Composición fisicoquímica de la leche de distintas razas bovinas.

Raza	Componente (%)						
	Agua	Grasa	Proteína	Lactosa	Cenizas	SNG	ST
Jersey	85.31	5.14	3.80	5.00	0.75	9.55	14.69
Guernsey	85.55	4.90	3.85	4.95	0.75	9.55	14.45
Shorthorn	87.56	3.65	3.30	4.80	0.69	8.79	12.44
Ayrshire	87.16	3.80	3.35	4.95	0.69	8.99	12.84
Holstein *	87.50	4.00	3.10	4.60	0.73	8.50	12.50
Pardo Suizo*	87.30	3.70	3.50	4.80	0.72	9.00	12.70

Fuente: Donald *et al.*, 1986 y *Scott *et al.*, 2002.

En las regiones tropicales de México se han realizado pocos estudios sobre el efecto de la raza en la producción y calidad de leche cruda en ganado bovino de doble propósito. García (2005) estimó que a medida que aumenta el porcentaje de genes europeos en ganado bovino de doble propósito, la producción de leche aumenta; además de que la mayor producción de leche por lactancia (2894 kg) se manifestó en los animales con 78% de genes europeos.

La producción de leche por día en ganado bovino de doble propósito, también aumenta a medida que aumenta el porcentaje de genes europeos. García (2005) observó que la mayor producción de leche por día se presentó en los animales con 70% de genes de razas europeas, mientras que Vite *et al.* (2007) reportaron que la mayor producción de leche ocurrió en los animales con 75% de genes europeos. Vite *et al.* (2007) estimaron una producción de leche por lactancia promedio de vacas Cebú, Pardo Suizo y Holstein, en ranchos del norte del estado de Veracruz, de 1543, 2788 y 2784 kg/vaca/día, respectivamente.

Número de parto y edad del animal

El nivel de producción de leche aumenta con los partos sucesivos de la vaca, obteniéndose los mayores volúmenes entre el tercer y cuarto parto, lo que depende en gran medida de la edad de incorporación del animal a la reproducción y el manejo del mismo durante su vida productiva (Schmidt, 1971). Varios estudios reportan que la producción de leche aumenta hasta el cuarto parto (Carvajal *et al.*, 2002; Cerón *et al.*, 2003; Vite *et al.*, 2007; García, 2005). Vite *et al.* (2007) señalan un incremento de 56.3% en el volumen de producción de leche por lactancia al comparar el volumen de leche producido en bovinos de doble propósito de primera y cuarta lactancia. Vite (2006) reportan que en ganado bovino de doble propósito las vacas de tercera lactancia produjeron 36 y 68% más leche que las vacas de segunda y primera lactancia, respectivamente.

Donald *et al.* (1986) reportaron que la grasa y los sólidos no grasos de la leche disminuyen de 0.2 y 0.4%, respectivamente, entre la primera y la quinta lactancia, y después de eso hay pocos cambios en los constituyentes de la leche. Por otro lado, Ochoa (1991) reporta que vacas primíparas, de segundo, tercero y cuarto partos, producen el 30, 20, 10 y 5% respectivamente, menos leche que una vaca de quinto parto. Las vacas de primer parto por lo general presentan menor concentración de NUL que vacas de segundo o más partos (Pedraza *et al.*, 2006).

Frecuencia y tiempo de ordeño

La frecuencia de ordeño es un factor que influye en la producción y calidad de la leche. Varios estudios han comparado la producción de leche y el contenido de sus constituyentes en vacas ordeñadas dos y tres veces por día. Klei *et al.* (1997) reportan que vacas ordeñadas tres veces por día producen de 3.5 a 4.0 kg de leche más que las vacas ordeñadas dos veces por día, y que los rendimientos de grasa y proteína se incrementan al aumentar la frecuencia de ordeño, aunque el porcentaje de éstos en leche disminuye al aumentar la producción. Ortiz (2005) reportó para ganado bovino de doble propósito una producción de leche diaria de 3.9 L con un solo ordeño y el doble de producción con dos ordeños.

Henry *et al.* (1960) mencionaron que la composición de la leche está relacionada inversamente con el número e intervalo de ordeños. Por otro lado, Lacy-Hulbert *et al.* (1999) reportaron que un ordeño incompleto aumenta el volumen de leche residual en la ubre, disminuye el porcentaje de grasa y la producción de leche en el siguiente ordeño, lo cual de suceder de manera continua, logra una depresión irreversible de la producción láctea.

La producción y calidad de la leche varía con respecto al horario de ordeño; Ortiz (2005) mencionó que en el ordeño de la mañana la leche presentó mayor porcentaje de grasa, proteína, sólidos totales, caseína y proporción caseína en la proteína, que en el ordeño de la tarde; mientras que en el ordeño de la tarde se estimó mayor porcentaje de sólidos no grasos.

Generalmente, el NUL es más bajo en la ordeña de la mañana que en la de la tarde. Godden *et al.* (2001) encontraron 68% de NUL más bajo en el ordeño de la mañana que en el de la tarde; esto se debe a que el intervalo de comida y ordeño de la mañana es mayor que el intervalo de la ordeña de la tarde.

Nivel de producción

La producción de leche de vaca comienza a un elevado nivel, que continúa aumentando hasta llegar al pico de producción máxima entre la tercera y sexta semana después del parto. Esta producción se mantiene pocas semanas, al cabo de las cuales la producción va declinando hasta el final de la lactancia (Schmidt, 1971). Donald *et al.* (1986) mencionaron que el rendimiento de la grasa, proteína, sólidos no grasos y sólidos totales, es alto al inicio de la lactancia, luego decae rápidamente y al final de la lactancia vuelve a aumentar.

Pedraza *et al.* (2006) explican que el nivel de producción es afectado negativamente por el alto contenido de NUL. Si la vaca es sobrealimentada con proteína, el animal debe invertir energía para transformar el amoníaco proveniente del rumen en urea en el hígado, disminuyendo este recurso para la síntesis de proteína y lactosa necesaria para la producción de leche.

Etapas de la lactancia

Durante los tres o cuatro días siguientes al parto, la glándula mamaria secreta calostro (periodo calostrado). Después del periodo calostrado la secreción de leche

aumenta en el siguiente mes; después se mantiene constante durante los dos meses siguientes, para disminuir progresivamente más tarde hasta el final de la lactancia, que dura aproximadamente diez meses. Los cambios en los rendimientos productivos durante el ciclo de lactancia, influyen de manera inversa a la composición (Donald *et al.*, 1986). Generalmente, en el primer tercio de la lactancia y concomitante con el pico de lactancia, se registran las menores concentraciones de grasa, proteína y sólidos de la leche, situación que se invierte al final de la lactancia. Mientras que las concentraciones de lactosa y potasio disminuyen al final de la lactancia (Schmidt, 1971; Veissseyre, 1988).

La grasa, proteína total, caseína y cenizas, se comportan de manera similar durante la lactancia; disminuyen en concentración durante las primeras seis semanas de la misma, seguido de este periodo, los componentes anteriores permanecen constantes o aumentan gradualmente hasta terminar la lactancia (Santos, 1995).

La etapa de la lactancia, determina el tipo de ácidos grasos contenidos en la grasa de la leche. La vaca después del parto se encuentra en un balance de energía negativo, por lo cual moviliza tejido adiposo de reserva, constituido por ácidos grasos de cadena larga; lo que ocasiona que en la lactancia temprana la leche presenta mayor proporción de ácidos grasos de cadena larga (Grummer, 1991; Palmquist y Beaulieu, 1993).

La concentración de NUL varía con la etapa de la lactancia; durante los primeros 60 días en ordeño la concentración de NUL es baja, mayor entre los 60 – 150 y baja nuevamente después de los 150 días de lactancia (Godden *et al.*, 2001).

La CCS de la leche de vaca en una lactancia normal (no infectadas) es alta al momento del parto ($>300 \times 10^5$ células mL^{-1} de leche); más baja desde el pico de lactación a la mitad de la misma ($<100 \times 10^5$ células mL^{-1} de leche), y más elevada en el momento de secado ($>400 \times 10^5$ células mL^{-1} de leche). La mayoría de los incrementos en la CCS asociados con una lactación avanzada, se deben a la concentración del número normal de células somáticas en un menor volumen de leche producida en esta etapa (Philpot, 2001).

Nutrición

La nutrición es un factor ambiental que influye directamente en la composición fisicoquímica y sanitaria de la leche, por lo cual se han realizado numerosos estudios donde se evalúa el efecto de la dieta sobre el nivel y composición de la leche (Palmquist y Beaulieu, 1993; Gaynor *et al.*, 1995; Barash *et al.*, 1996; Mackle *et al.*, 1999). Los cambios en el contenido de grasa y proteína con relación a los cambios de la alimentación son de gran interés para el productor, porque el valor económico de la leche depende del porcentaje de estos componentes.

Calidad de la ración

El uso de pastos de buena calidad en la alimentación de la vaca lechera trae como resultado un incremento en la producción de leche y en los rendimientos en grasa y proteína láctea. En el caso del trópico, los pastos constituyen la base alimenticia de la vaca lechera. Estos pastos generalmente presentan un nivel bajo de energía y proteína, lo cual afecta negativamente la producción y composición de la leche (Juarez *et al.*, 1999).

Las vacas que consumen forraje con mayor cantidad de fibra incrementan el porcentaje de grasa, pero a costa de una menor producción de leche, obteniéndose menores producciones de grasa diaria. El menor consumo de energía de las vacas alimentadas con forrajes maduros, se refleja también, en menores porcentajes de proteína de la leche, lo que asociado a una menor producción, provoca importantes disminuciones en la producción diaria de proteína (Mackle *et al.*, 1999).

Palmquist y Beaulieu (1993) y Barash *et al.* (1996) reportaron que conforme aumenta el porcentaje de concentrado en la dieta, disminuye el porcentaje de grasa y aumenta el porcentaje de proteína y lactosa. Gaynor *et al.* (1995) encontraron que en vacas alimentadas con 80% de concentrado en la dieta, la producción de leche, el porcentaje de proteína y el porcentaje de lactosa aumentan; mientras que el porcentaje de grasa y sólidos totales en leche disminuye notablemente, en comparación con vacas alimentadas con 40% de concentrado en la dieta. Además, muchas manipulaciones nutricionales como

dietas altas en grasa, forrajes de partícula pequeña o muy grande y la adición de ionóforos, causan una disminución en el rendimiento de grasa de la leche (Grummer, 1991; Griinari *et al.*, 1998). Whitlock *et al.* (2003) reportaron que porcentajes mayores del 40% de concentrado en la dieta, el consumo de materia seca y producción de leche aumentan mientras que el porcentaje de grasa láctea disminuye. Griinari *et al.* (1998) reportaron que la producción de leche disminuye cuando la dieta proporcionada es rica en forraje (mayor a 40% de la dieta) o en fibra detergente neutro.

La cantidad de grasa en la ración tiene poco efecto sobre los porcentajes de grasa y proteína en leche, pero sí afecta la composición de ácidos grasos en la grasa láctea (Santos, 1995). Tackett *et al.* (1996) concluyeron que la suplementación de grasa en la alimentación de las vacas no afecta la producción de leche, sin embargo provoca una disminución en el porcentaje de grasa de 3.5 a 3.0% y de proteína en leche de 3.4 a 3.2%. Esto se debe a que se reduce la digestión de la fibra, la producción de acetato y se acumulan ácidos grasos *trans* en el rumen durante la hidrogenación de ácidos grasos insaturados de cadena larga.

Klusmeyer *et al.* (1990) encontraron que la suplementación con grasa en vacas lecheras disminuye los porcentajes de grasa en un 0.43% y proteína en un 0.20%, aunque no afecta la producción diaria de leche.

Estación del año

Donald *et al.* (1986) mencionan que los factores ambientales en la mayoría de los casos influyen directamente en el nivel de consumo de alimento de los animales, dando como resultado variaciones significativas en la producción y composición de la leche. Cuando la temperatura ambiente se encuentra por encima de 30°C se reduce la producción de leche, además de los niveles de grasa y proteína, debido a la reducción del ingreso de energía a través de la dieta. A temperaturas altas, se presenta un aumento en el contenido de cloruros y una disminución en el contenido de lactosa y proteínas de la leche. Conforme descenden las temperaturas por debajo de 24°C, aumenta el porcentaje de grasa y sólidos no grasos.

La combinación del estrés calórico, con la pobre suplementación o una dieta basada solamente en forrajes condiciona en la lactancia temprana y media a una disminución de los rendimientos lácteos. Ortiz (2005) reportó que la calidad fisicoquímica de la leche varía de acuerdo a la época del año; encontrando que en la época de lluvias la leche presenta mayores contenidos de agua, proteína y CCS; mientras que en época seca presenta mayor contenido de sólidos totales, densidad y crioscopia. El efecto producido por la temperatura ambiente sobre el rendimiento y composición de la leche depende de la raza de la vaca. La producción de leche disminuye cuando la temperatura ambiental sobrepasa los 27°C para las razas Holstein y Suizo Pardo, 29°C para Jersey y de 32 a 35°C para las Brahman (Schmidt, 1971).

Los rendimientos de leche durante la lactancia completa suelen ser mayores en otoño y a comienzos de invierno. Los rendimientos se reducen progresivamente cuando el parto se produce en invierno, primavera y verano (Barash *et al.*, 1996). Por otro lado, Santos (1995) menciona que los porcentajes de grasa, proteína y sólidos no grasos, son menores en verano que en invierno.

Godden *et al.* (2001) encontraron que el NUL es mayor en verano y en especial en los meses de Agosto y Septiembre, lo cual está asociado a que en verano los pastos contienen la menor concentración de proteína y es por eso que la leche en esta estación del año presenta el menor porcentaje de proteína láctea y la menor concentración de NUL.

Hojman *et al.* (2004) y Pedraza *et al.* (2006) coinciden en que las mayores concentraciones de NUL se obtienen en primavera y verano, mientras que las menores en otoño e invierno. Esta mayor concentración podría explicarse por las características de la pradera en ese periodo del año, ya que presenta un alto contenido de proteína degradable en rumen, alta digestibilidad, baja fibra y un mayor valor nutritivo.

Cuenta de células somáticas

La mastitis es el nombre técnico que se le da al proceso de inflamación de la glándula mamaria (Donald *et al.*, 1986). Esta inflamación se desarrolla debido a la presencia de leucocitos. Los leucocitos son creados por el sistema inmune de la vaca y transportados hacia la ubre debido a la presencia de bacterias en el

canal del pezón. Una vez infiltradas en el canal del pezón, las bacterias se multiplican en número y producen toxinas que causan la destrucción del tejido mamario, cuya función es producir leche. Esto significa que el potencial productivo de la glándula mamaria disminuye dado que la cantidad de células encargadas de manufacturar leche es menor. La elevación en el número de leucocitos, comúnmente llamado "cuenta de células somáticas" (CCS), llega a causar una reducción en la producción de leche y también altera la composición normal de dicha leche (Cuadro 5). En conjunto, estos cambios afectan negativamente la calidad y cantidad de los productos lácteos (Loor y Jones, 1998).

Cuadro 5. Pérdidas estimadas en producción de leche por día y por lactancia, asociadas con incrementos en la cuenta de células somáticas.

ELCCS ¹	CCS ²		Pérdida estimada de leche (305 días)			
	Promedio (x 1000)	Rango (x 1000)	Primer parto		Dos o más partos	
			kg/día	Kg/lactancia	kg/día	kg/lactancia
0	12.5	0-17	0.00	0.0	0.00	0.0
1	25.0	18-34	0.00	0.0	0.00	0.0
2	50.0	35-70	0.00	0.0	0.00	0.0
3	100.0	71-140	0.34	91.0	0.68	182.0
4	200.0	141-282	0.68	182.0	1.36	363.0
5	400.0	283-565	1.02	272.4	2.04	545.0
6	800.0	566-1130	1.36	363.2	2.72	726.0
7	1600.0	1131-2262	1.70	454.0	3.40	908.0
8	3200.0	2263-4525	2.04	545.0	4.08	1,090.0
9	6400.0	>4526	2.38	636.0	4.76	1,271.0

Fuente: NMC, 1996.

¹ ELCCC= Escala lineal de la cuenta de células somáticas ² CCS= Cuenta de células somáticas

La CCS en leche se utiliza como un indicador de la salud de la glándula mamaria. Es la base para detectar la presencia de mastitis de: (1) cuartos individuales; (2) vacas individuales; (3) el hato completo; o (4) un grupo de hatos. Las células somáticas tienen un doble propósito en la glándula mamaria: combatir a los microorganismos infectantes a través de un proceso denominado fagocitosis, el cual involucra la ingestión y destrucción de ellos; y la reparación de los tejidos secretores de leche dañados por la infección o lesión. Las concentraciones de células somáticas pueden variar de miles a millones por mililitro de leche, dependiendo del microorganismo específico involucrado en la infección y del grado de inflamación de la glándula mamaria (Nielsen *et al.*, 2005).

Loor y Jones (1998) mencionan que una vaca que elimina pocas células somáticas será ignorada, mientras que vacas que eliminan un número extremadamente alto probablemente producirán leche anormal y la leche no se mezclará con el resto de la leche ordeñada. Ninguno de esos dos tipos de vacas tendrá mucho impacto en la CCS del hato. Las vacas de mayor importancia son aquellas con mastitis subclínica, que son en realidad quienes están contribuyendo con un número significativo de células somáticas a la leche del hato, mientras que al mismo tiempo son ignoradas porque tienen mastitis subclínica y su leche es de apariencia normal.

En general, la CCS es menor inmediatamente antes del ordeño, mayor en la leche residual, permanecerá elevada hasta cuatro horas después del ordeño y continuará disminuyendo gradualmente hasta el siguiente ordeño. La CCS entre los cuartos de la glándula mamaria es muy variable (Loor y Jones, 1998).

Las vacas multíparas que no están infectadas o que no han sufrido de lesiones persistentes en los cuartos o al interior de la glándula mamaria, continúan produciendo leche con una CCS reducida. Sin embargo, es bien sabido que la leche de vacas multíparas usualmente tiene una CCS alta. La CCS depende de factores del animal; Philpot (2001) reportó que los principales factores que afectan el contenido de células somáticas en leche son: edad de la vaca, etapa de lactancia y nivel de producción de leche. Sin embargo, no se han evaluado otros factores que influyen en la calidad fisicoquímica de la leche, como son el genotipo del animal, el número de lactancia, el mes de lactancia y el sistema de alimentación, entre otros. La mayoría de los incrementos en la CCS asociados con una lactancia avanzada se deben a la dilución del número normal de células somáticas en un menor volumen de leche.

La CCS es influenciada por la salud del cuarto y el intervalo de ordeño. Un cuarto infectado tendrá una cuenta de células somáticas elevada, disminuyendo el contenido de grasa y aumentando el contenido de proteína, lactosa y urea en leche (Nielsen *et al.*, 2005).

La producción y composición de la leche es afectada negativamente por el aumento de la CCS (Simpson *et al.*, 1995). Pedraza *et al.* (2000) concluyeron que en vaquillas y vacas con ELCCS (escala lineal de la cuenta de células somáticas) de 9, su producción láctea disminuye hasta 5.81 y 7.2 L día⁻¹, respectivamente; además que los contenidos de ST, SNG y grasa también disminuyen. Pérez (2006) concluyó que la CCS influye en la calidad fisicoquímica de la leche, y en específico en los porcentajes de caseína, lactosa y SNG, además de la crioscopia y producción diaria de leche; en tanto que, no tiene efecto sobre los porcentajes de grasa, proteína y ST.

DePeters y Ferguson (1992) reportaron que la leche proveniente de vacas con mastitis es pobre en lactosa, caseína y potasio, y más rica en proteínas no caseínicas y otros compuestos nitrogenados, incluyendo NUL, sodio y cloruros. Esto puede deberse a que la glándula mamaria inflamada, con altos niveles de células somáticas, altera la permeabilidad del tejido mamario y la capacidad de síntesis de los constituyentes de la leche, permitiendo el paso de elementos de la sangre hacia la leche, entre los que destacan la urea, cloro y sodio, más ciertas proteínas séricas como seroalbúminas e inmunoglobulinas.

Pedraza *et al.* (2000) encontraron que existe una relación positiva entre la cuenta de células somáticas y NUL, a mayor CCS mayor NUL. Auldist *et al.* (1995) mencionan que conforme avanza la lactancia, la composición de la leche y la cuenta de células somáticas varía. Ellos compararon los cambios en la composición de la leche de vacas sanas y vacas con mastitis durante una lactancia; encontraron que la leche de vacas con mastitis estuvo más alta en

proteína total, proteína no caseínica y sodio, pero más baja en grasa, lactosa, caseína y potasio que la leche de vacas sanas, aunque las diferencias fueron consistentemente no significativas.

LITERATURA CITADA

- Alais, C. 2001. Ciencia de la Leche Principios de Tecnología Lechera. Editorial CECSA. México, D. F. 269 pp.
- Auldist, J. M., B. Cotas, G. Rogers, and L. McDowell. 1995. Changes in the composition of milk from healthy and mastitic dairy cows during the lactation cycle. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35: 427-436.
- Barash, H., N. Silanikove, and J. I. Weller. 1996. Effect of season of birth on milk, fat, and protein production of Israeli Holstein. *Journal of Dairy Science* 79: 1016-1020.
- Basurto, K. V. M. 2001. Cantidad y calidad de leche "factores que afectan". *Revista Holstein, México*. Noviembre pp: 26-28.
- Butler, W. R., J. J. Calaman, and S. W Bean. 1996. Plasma and milk urea nitrogen in relation to pregnancy rate in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 74: 858-865.
- Carvajal H., M., E. R. Valencia H. y J. C. Segura C. 2002. Duración de la lactancia y producción de leche de vacas Holstein en el estado de Yucatán, México. *Biomédica* 13: 25-31.
- Cerón M., H. Tonhati, C. Costa, C. Solarte y O. Benavides. 2003. Factores de ajuste para la producción de leche en bovinos holstein colombiano. *Ciencia Pecuaria* 16(1): 26-32.

- COFOCALEC (Consejo para el Fomento de la Calidad de Leche). 2004. Norma Mexicana Oficial NMX-F-700-COFOCALEC-2004. Consultado el 15 de agosto de 2007.
- DePeters, J. E., and D. J. Ferguson. 1992. Non-protein nitrogen and protein distribution in the milk of cows. *Journal of Dairy Science* 75: 3192-3209.
- Donald, L., P. Bath y F. Dickinson. 1986. *Ganado Lechero*. Edit. Interamericana, México, D.F. 366 pp.
- Friedrich, K. M. 2000. *Productos Lácteos Serie Agronegocios*. Grupo editorial Iberoamericano S.A. de C.V. México D.F. 55 pp.
- García C., R. 2005. Producción de leche de vacas con diferente porcentaje de genes *Bos taurus* en el trópico mexicano. Tesis de Maestría en Ciencias Universidad Autónoma Chapingo. 67 pp.
- Gasque G., R. y M. A. Blanco O. 1995. Zootecnia en Bovinos Productores de Leche. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. Libro electrónico. pp: 30-39, 146-171.
- Gaynor, J. P., D. R. Waldo., A. V. Capuco., R. A. Erdman., L. W. Douglass, and B. B. Teter. 1995. Milk fat depression, the glucogenic theory, and *trans*-C_{18:1} fatty acids. *Journal of Dairy Science* 78: 2008-2015.
- Godden, S. M., K. D. Lissemore., D. F. Kelton., J. S. Walton., K. E. Leslie., J. S. Walton, and J. H. Lumsdens. 2001. Factors associated with milk urea concentrations in Ontario dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84:107-1014.
- Griinari, J. M., D. A. Dwyer, M. A. McGuire, D. E. Barman, D. L. Palmquist, and K. V. V. Nurmela. 1998. Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81: 1251-1261.
- Grummer, R. R. 1991. Effect of feed on the composition of milk fat. *Journal of Dairy Science* 74: 3244-3257.
- Henry, E. C., C. W. Barnes, and H. Macy. 1960. *Milk and Products*. Ed. McGraw-Hill. Nueva York. 155 pp.

- Hof, G., M. D. Vervoorn, P. J. Lenaers, and S. Tammina. 1997. Milk urea nitrogen as a tool to monitor the protein nutrition of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 80: 3333-3340.
- Hojman, D., O. Kroll, G. Adin, M. Gips, B. Hanochi, and E. Ezra. 2004. Relationships between milk urea and production, nutrition and fertility traits in Israeli dairy herds. *Journal of Dairy Science* 87: 1001-1011.
- Juarez L., F., I. D. G. Fox, R. W. Blake, and A. N. Pell. 1999. Evaluation of tropical grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical México. *Journal of Dairy Science* 82: 2136-2145.
- Klei, R. L., M. J. Lynch, M. D. Barbano, A. P. Oltenacu, J. A. Lednor, and K. D. Bandler. 1997. Influencing of milking three times a day on milk quality. *Journal of Dairy Science* 80: 427-436.
- Klusmeyer, T. H., M. R. Cameron, G. C. McCoy, and J. H. Clark. 1990. Effects of feed processing and frequency of feeding on ruminal fermentation, milk production and milk composition. *Journal of Dairy Science* 73: 3538-3543.
- Lacy-Hulbert, S. J., M. W. Woolford, G. D. Nicholas, C. G. Prosser, and K. Stelwagent. 1999. Effect of milking frequency and pasture intake on milk yield and composition of late lactation cows. *Journal of Dairy Science* 82: 1232-1239.
- Lerche, M. 1969. *Inspección Veterinaria de la Leche*. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 165 pp.
- Loor, J. J., and G. M. Jones. 1998. Aspectos Básicos sobre el Desarrollo de Mastitis. *Guías del Ordeño*. Virginia Cooperative Extensión. Publicación 404-233W.
- Mackle, T. R., A. M. Bryant, S. F. Petch, J. P. Hill, and J. M. Auldist. 1999. Nutritional influences on the composition of milk from cows of different protein phenotypes in New Zealand. *Journal of Dairy Science* 82: 172-180.

- NMC (National Mastitis Council). 1996. Current Concepts of Bovine Mastitis. 4ta. Ed., Arlington, VA. p. 15.
- Nielsen, N. L., T. Larsen, M. Bjerring, and K. L. Ingvarsen. 2005. Quarter health, milking interval, and sampling time during affect the concentration of milk constituents. *Journal of Dairy Science* 88: 3186-3200.
- Nousiainen, J., K. Shingfiel, and J. Huhtanen. 2004. Evaluation of milk urea as a diagnostic of protein feeding. *Journal of Dairy Science* 87: 386-398.
- Ochoa P., G. 1991. Mejoramiento genético del ganado bovino productor de leche. *Ciencia Veterinaria* 5: 67-88.
- Ortiz H., M. 2005. Calidad de la leche en explotaciones de ganado bovino de doble propósito en Tabasco. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo. 116 pp.
- Palmquist, D. L., and D. A. Beaulieu. 1993. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *Journal of Dairy Science* 76: 1753-1771.
- Pedraza C., G., A. Mansilla M., P. Fajardo y H. Agüero E. 2000. Cambios en la producción y composición láctea por efecto del incremento de células somáticas en leche de vacas. *Agricultura Técnica* 60(3): 1-7.
- Pedraza C., G., A. Mansilla M., F. Merucci D., P. Pinedo y H. Contreras C. 2006. Niveles de urea láctea en vacas de la región del Bío-Bío, Chile. *Agricultura Técnica* 66: 264-270.
- Pérez A., R. 2006. Efecto de las células somáticas sobre variables fisicoquímicas y microbiológicas en leche cruda. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chihuahua. 72 pp.
- Philpot, N. W. 2001. Importancia de la cuenta de células somáticas y los factores que la afectan. *In: memorias del III Congreso Nacional de Control de Mastitis y Calidad de la Leche*. 21- 23 de Junio. León, Guanajuato, México. pp: 27-33.

- Rueda R. A., N. 1990. Fisiología de la lactancia. Síntesis Lechera, Marzo: pp: 30-36.
- Santos A., M. 1995. Química y Bioquímica de los Alimentos. Universidad Autónoma Chapingo. 355 pp.
- Scott, R., K. R. Robinson, and A. R. Wilbey. 2002. Fabricación de Queso. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 110 pp.
- Schmidt, H. G. 1971. Biología de la Lactación. Ed. Acribia, Zaragoza, España. 307 pp.
- Shearer, K. J. 1986. The Production of Quality Milk. IFAS. Extension Veterinaria. College of Veterinary Medicine. University of Florida. pp: 1-8.
- Sheen, S. R. y A. Riesco D. 2002. Factores que afectan la producción de leche en vacas de doble propósito en trópico húmedo (Pucallpa). Veterinaria Perú 13(1): 25-31.
- Simpson, R. B., D. P. Wesen, K. L. Anderson, J. D. Armstrong, and R. W. Harvey. 1995. Subclinical and milk production in primiparous Simmental cows. Journal of Dairy Science 73: 1552-1558.
- Spreer, E. 1991. Lactología Industrial, Leche Preparación y Elaboración, Máquinas Instalaciones y Aparatos Productos Lácteos. 2da Ed. Edit. Acribia. Zaragoza, España. pp: 7-48.
- Tackett, V. L., J. A. Bertrnd, T. C. Jenkins, F. E. Pardue, and L. W. Grimes. 1996. Interacción of dietary fat and acid detergent fiber diets of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 79: 270-275.
- Varnam, H. A. 1995. Leche y Productos Lácteos; Tecnología, Química y Microbiología. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España. 97 pp.
- Veisseyre, R. 1988. Lactología Técnica. Ed. Acribia, España. 120 pp.

- Vite C., C., R. López O., J. G. García M., R. Ramírez V., A. Ruiz F. y R. López O. 2007. Producción de leche y comportamiento reproductivo de vacas doble propósito que consumen forrajes tropicales y concentrados. *Veterinaria México*. 38 (1): 63-79 pp.
- Vite C., C. 2006. Producción de leche y actividad reproductiva de vacas con diferente proporción de genes *Bos taurus* en el norte de Veracruz, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo. 63 pp.
- Weeb, H. B. 1974. *Fundamentals of Dairy Chemistry*. Ed. AVI. Washintong USA. pp: 2-9.
- Whitlock, A. L., J. D. Schingothe, R. A. Hippen, F. K. Kalscheur, and A. A G. Abu. 2003. Milk production and composition from cows feed high oil or conventional corn at two forage concentrations. *Journal of Dairy Science* 86: 2428-2437.

CAPÍTULO III

CALIDAD DE LECHE DE GANADO BOVINO DE DOBLE PROPÓSITO EN VERACRUZ, MÉXICO

Escorza C. A. V.; García M. J. G.; Maldonado S. E; Ramírez V. R. y Huerta B.
M.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la cuenta de células somáticas (CSS) y la calidad fisicoquímica de leche de vacas individuales ($n = 2,488$) que representaron a 76 ranchos de doble propósito del norte de Veracruz, México, y comparar los resultados con los estándares de la normatividad nacional vigente. Las muestras de leche ($n = 3,916$) se colectaron de agosto de 2005 a noviembre de 2006, y se analizaron para grasa, proteína, lactosa, caseína, sólidos no grasos (SNG), sólidos totales (ST), nitrógeno ureico en leche (NUL), cuenta de células somáticas (CCS), y las variables fisicoquímicas densidad, crioscopia y acidez. Para cada variable se elaboraron histogramas y distribuciones de frecuencia y los resultados se compararon con los estándares especificados en las NOM-155-SCFI-2003 y NMX-F-700-COFOCALEC-2004. Los promedios $\pm$ desviación estándar y el porcentaje de muestras que superaron el estándar o que estuvieron en el rango especificado de la normatividad nacional vigente fueron: grasa ($3.72 \pm 1.26\%$; 67%), proteína ($3.4 \pm 0.42\%$; 75.4%), caseína ($2.71 \pm 0.34\%$; 98%), SNG ($8.76 \pm 0.53\%$; 84.4%), ST ($12.63 \pm 1.43\%$; 84.0%), densidad (1.030 ± 0.003 g/mL; 74%), lactosa ($4.52 \pm 0.31\%$; 83.6%), NUL (13.4 ± 5.1 mg dL⁻¹; 98.9%) y CCS ($122,621.0 \pm 147,805.0$ células somáticas mL⁻¹ de leche; 98%). En contraste, los registros de crioscopia (-0.535 ± 0.06 °C; 26%) y acidez (16.9 ± 3.0 °D; 51%) cumplieron en promedio con las especificaciones de la norma, pero un bajo porcentaje de las muestras individuales de leche estuvieron dentro del rango especificado por ésta. Se concluye que la leche de los ranchos evaluados es de excelente calidad de acuerdo con lo establecido por la normatividad nacional vigente.

Palabras clave: Calidad fisicoquímica de leche, Cuenta de células somáticas, Bovinos de doble propósito, Estándares mexicanos de calidad de leche.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate somatic cell count (SCC) and physicochemical quality of milk of individual crossbred cows ($n = 2,488$) representing 76 dual purpose farms from Veracruz, México, and to compare it with Mexican milk quality standards. Milk samples ($n = 3,916$) were collected from August 2005 to November 2006, and were analyzed for fat, protein, lactose, casein, solids non fat (SNF), total solids (TS), milk urea nitrogen (MUN), somatic cell count (SCC), and the milk physicochemical properties such as density, freeze point depression (FPD), and milk acidity. For each variable, histograms and frequency distributions were made and compared with the milk quality standards specified in the NOM-155-SCFI-2003 and NMX-F-700-COFOCALEC-2004. The average $\pm$ SD and the percentage of milk samples that outperformed or were within the range specified by the standard were: fat ($3.72 \pm 1.26\%$; 67%), protein ($3.40 \pm 0.42\%$; 75.4%), casein ($2.71 \pm 0.34\%$; 98%), SNF ($8.76 \pm 0.53\%$; 84.4%), TS ($12.63 \pm 1.43\%$; 84.0%), and milk density ($1.030 \pm 0.003 \text{ g mL}^{-1}$; 74%), lactose ($4.52 \pm 0.31\%$; 83.6%), MUN ($13.4 \pm 5.1 \text{ mg dL}^{-1}$; 98.9%) y CCS ($122,621.0 \pm 147,805.0$ somatic cells mL^{-1} of milk; 98%). In contrast, the records of FPD ($-0.535 \pm 0.06 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 26%) and milk acidity ($16.9 \pm 3.0 \text{ }^{\circ}\text{D}$; 51%) were on average in accordance with the Mexican milk quality standards but a low percentage of individual milk samples were within the range specified by the standard. It is concluded that the milk from the farms evaluated is of high quality since the majority of samples were within the range or well above the current specifications of Mexican milk quality standards.

Key words: Milk quality, Somatic Cell Count, Dual purpose cattle, Mexican milk quality standards.

INTRODUCCIÓN

En México la ganadería se practica en diversas condiciones agroecológicas, mismas que son influenciadas por el clima, los sistemas de producción, las tecnologías aplicadas, así como la finalidad comercial de las explotaciones. Con base en estas condiciones, las regiones ganaderas en el país se clasifican en árida y semiárida, templada, trópico seco y trópico húmedo. De acuerdo con las condiciones de las regiones ganaderas, en México se identifican cuatro sistemas de producción de leche: el especializado, el semiespecializado, el familiar y el sistema de doble propósito. En el 2003, los sistemas de doble propósito y el semiespecializado aportaron el 18.3% y el 21.3% de la producción de leche nacional total, respectivamente, y en específico el estado de Veracruz aportó el 7.3% de la producción nacional total (SAGARPA, 2004).

En el 2006, la producción nacional de leche de vaca fue de aproximadamente 10, 000 millones de litros. Alrededor de 66% de esta producción la aportaron nueve entidades federativas del país, incluyendo el estado de Veracruz que produce leche fundamentalmente con el sistema de doble propósito, que aportó el 5.5% (SIAP, 2007).

En México el sistema de doble propósito se caracteriza por utilizar animales producto de cruza de razas cebuinas, adaptadas a las condiciones tropicales de clima y alimentación, con razas europeas especializadas para producción de leche como Pardo Suizo y Holstein, principalmente. En los últimos años, en algunos lugares del trópico húmedo de México, la producción de leche se lleva

a cabo utilizando un sistema semiespecializado de producción. Dicho sistema se caracteriza por utilizar oxitocina para estimular la bajada de la leche, el ordeño es mecánico y la leche se vende a empresas con influencia local, regional o nacional. Las empresas que compran la leche de los productores del trópico demandan cada vez una mayor calidad fisicoquímica y sanitaria de la leche cruda, ya que de ésta depende el rendimiento y vida de anaquel de los derivados que de la leche se obtengan.

La calidad fisicoquímica y sanitaria de la leche comercial y de sus derivados, depende directamente de la calidad del producto original o materia prima proveniente de las zonas de producción, así como de las condiciones de transporte, conservación y manipulación de la leche hasta su llegada a la planta.

La calidad de la leche se establece por medio de la composición fisicoquímica y sanitaria, mediante parámetros especificados por normas de cada país. En México se estableció la Norma Oficial Mexicana Número 155 para leche pasteurizada y la Norma Mexicana Número 700 para leche cruda, con la finalidad de estandarizar la calidad de la leche que proveen los productores primarios a la industria (COFOCALEC, 2004).

Los industriales de la leche utilizan estos estándares o una modificación de los mismos para establecer su sistema de pago con sus proveedores. Estos sistemas de pago se han desarrollado más fuertemente en las regiones templadas y semiáridas, donde se localizan los sistemas especializados de

producción de leche. Sin embargo, su uso e implementación en los sistemas de doble propósito y sistemas semiespecializados en las regiones tropicales húmedas de México es todavía incipiente.

En la actualidad, en México existen pocos estudios que hayan caracterizado la calidad fisicoquímica y sanitaria de la leche de vacas individuales en las regiones tropicales. En consideración con lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la calidad fisicoquímica y sanitaria de leche cruda de vacas individuales del sistema de producción de doble propósito del norte de Veracruz, México, y compararla con la normatividad nacional vigente en el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se realizó en 76 ranchos, ubicados en los municipios de Cazones, Ozuluama, Chicontepec, Tampico Alto, Tantoyuca, Tempoal, Ixcatepec, Pueblo Viejo, Tuxpan, Tepetzintla y Tamalín; localizados en el norte de Veracruz. El periodo de estudio fue del 15 de agosto de 2005 al 15 de noviembre de 2006. Los municipios se localizan entre los paralelos 20° 57' y 22° 11' latitud norte y entre 97° 29' y 98° 23' longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar que comprende desde los 10 hasta los 260 metros. Es una zona donde predomina el clima cálido extremo con una temperatura promedio anual de 23 °C y una precipitación media anual de 1,308 mm.

Hatos estudiados

Los hatos estudiados corresponden a explotaciones de bovinos de doble propósito enfocadas a la producción de leche, con base en ganado cruzado de razas cebuínas con razas europeas como Pardo Suizo, Simmental, Holstein y Simbrah. La alimentación está basada en el pastoreo de gramíneas tropicales; se suplementa durante todo el año al momento del ordeño, el cual es manual o mecánico. El ordeño mecánico se efectúa una o dos veces al día utilizando una inyección de oxitocina como estímulo para la bajada de la leche. La estructura factorial del estudio se presenta en el Cuadro 6. En total se obtuvo información de la calidad de leche de 2488 vacas individuales de 76 ranchos, durante un periodo de 15 meses que comprende la época de lluvias y época seca.

Cuadro 6. Estructura de la base de datos del estudio para evaluar la calidad fisicoquímica de leche cruda en 76 hatos de bovinos de doble propósito en el Norte de Veracruz, México.

Municipio	Número		
	Ranchos	Vacas	Observaciones
Ozuluama	30	1118	1769
Ixcatepec	7	134	221
Cazones	3	40	40
Chicontepec	3	48	57
Pueblo Viejo	1	16	32
Tamalín	1	60	106
Tampico Alto	10	389	819
Tantoyuca	3	96	77
Tempoal	6	244	421
Tepetzintla	10	305	336
Tuxpan	2	38	38
Total	76	2488	3916

Manejo del ganado lactante

Los tres primeros días después del parto la vaca permanece junto con su cría proporcionándole calostro. Al cuarto día la vaca se integra al grupo de animales en ordeña. Después del ordeño los becerros permanecen con la madre para consumir la leche residual de un solo cuarto hasta las 17:00 h. En este momento se realiza la separación de la madre de su cría para el inicio del ordeño del día siguiente. Con esta práctica se induce el cese del amamantamiento del becerro por un periodo de 12 a 15 h, lo cual permite la acumulación de la leche en la glándula mamaria de la vaca para ser ordeñada el día siguiente. En los hatos estudiados sólo se realizan registros de fecha de parto y genotipo del animal, omitiéndose parámetros como producción de leche y otros eventos reproductivos.

Aproximadamente un 50% de los ranchos estudiados realizan dos ordeños por día; en el 60% de los ranchos se realiza ordeño mecánico y el resto realiza ordeño manual. El ordeño de la mañana se realiza entre 6:30 y 8:30 h, y el ordeño de la tarde entre 15:40 y 17:30 h. La duración promedio de la lactancia es de 9.3 meses. La producción de leche por vaca por día de ordeño mostró una variación entre 2.6 hasta 20 kg, con un promedio de 9 kg. Con la duración de lactancia y la producción de leche por día de ordeño se estimó una producción por lactancia de 2421 kg/vaca.

Manejo de la alimentación, pastoreo, reproducción y sanidad

La alimentación de los animales se basa, principalmente, en el pastoreo de praderas con gramíneas nativas e introducidas. Las especies nativas comprendieron principalmente el género *Paspalum*. Las especies introducidas estuvieron representadas por forrajes para corte y para pastoreo.

Los forrajes para corte presentes fueron King grass (*Pennisetum purpureum* cv. King grass), Taiwán (*Pennisetum purpureum* cv. P. american), Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), Maíz (*Zea mays*) y Sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*). Los pastos para pastoreo estuvieron representados por pasto Alemán (*Echinochloa polystachia*), Angleton (*Dichanthium aristatum*), Bermuda de la costa (*Cynodon dactylon*), Brizanta o Insurgente (*Brachiaria brizantha*), Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), Estrella mejorado (*Cynodon nlemfuensis*), Guinea común (*Panicum maximum*), Llanero (*Andropogum gayanus*), Mombasa (*Panicum maximum* cv. Mombasa), Mulato (*Brachiaria híbrido* cv. Mulato), Pangola (*Digitaria decumbens*), Pará (*Brachiaria mutica*), Señal o Chontalpo (*Brachiaria decumbens*), y Tanzania (*Panicum maximum* cv. Tanzania).

La mayoría de los productores utiliza las praderas con pastoreo rotacional, usan cerco eléctrico, controlan malezas (manual, mecánico o químico), pero no todos fertilizan las praderas.

En general, la mayoría de los ganaderos realizan la suplementación del ganado con alimento balanceado, grano de maíz, melaza, pasto de corte, sal común, sales minerales y subproductos agrícolas. Los tipos de animales que más frecuentemente se suplementan son las vacas lactantes y los terneros.

En el manejo reproductivo de los hatos predomina la monta natural, con la escasa utilización de la inseminación artificial. El empadre es continuo, es decir, los toros o la inseminación artificial se utilizan durante todo el año, aunque la mayor concentración de partos se presenta en los meses de abril, mayo y junio. La mayor producción de leche se concentra en los meses de mayo, junio, julio y agosto, como consecuencia de la sincronización natural de los partos.

El manejo de medicina preventiva consiste en la utilización de una gran variedad de vacunas y bacterinas para la inmunización de carbón sintomático, pasteurelosis neumática, derriengue y edema maligno, entre otras. La frecuencia de aplicación es dirigida una o dos veces por año a animales mayores de seis meses de edad. La desparasitación externa, principalmente contra garrapata, se realiza cada 15 días, utilizando aspersiones manuales.

Colección de muestras

La fase experimental se realizó en un periodo de 15 meses, efectuándose muestreos mensuales en cada explotación, lo cual sirvió de base para determinar la producción y calidad de la leche de cada una de las vacas de cada rancho. La colección de las muestras de leche se efectuó al final del ordeño de cada vaca por medio de dispositivos tipo Waikato. Para cada una de

las muestras colectadas también se registró la identificación de la vaca, la producción de leche, el genotipo de la vaca y fecha de muestreo, posteriormente se colectó la muestra en viales estériles de 60 mL de capacidad.

Una vez colectadas las muestras se trasladaron al Laboratorio de "Análisis de Leche" del Posgrado en Producción Animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. A cada muestra se le determinó la cuenta de células somáticas (CCS) por medio de la prueba de Wisconsin; además, se sometió al equipo de análisis de leche MILKOSCAN FT 120, con el cual se obtuvo la composición nutricional, así como la densidad, agua adicionada, el punto crioscópico y el contenido de urea.

Variables medidas

La información que se generó en este estudio, correspondió a variables registradas por el productor, como genotipo, producción de leche, fecha y número de parto de las vacas; y a variables generadas durante el proceso de investigación que comprenden: cuenta de células somáticas (CCS), contenido de grasa (%), proteína (%), sólidos totales (ST), sólidos no grasos (SNG, %), lactosa (%), caseína (%), proporción caseína en la proteína (%), acidez (°D), densidad (g/mL), punto crioscópico (° C) y nitrógeno ureico en leche (mg dL⁻¹).

Los contenidos de grasa, proteína, sólidos totales, sólidos no grasos, caseína, proporción de caseína en la proteína, la cuenta de células somáticas, la

densidad y la crioscopia de las muestras de leche; se compararon con los estándares de la norma mexicana para leche cruda **NMX-F-700-COFOCALEC-2004** y los estándares de la norma oficial mexicana para leche pasteurizada **NOM-155-SCFI-2003** (Cuadro 7), así como el indicador de la cantidad máxima aceptable de 350,000 células somáticas/mL de leche de industrias pasteurizadoras líderes en el mercado mexicano como LALA y ALPURA..

Cuadro 7. Especificaciones de las normas nacionales vigentes para evaluar la calidad de leche cruda y pasteurizada.

Especificaciones de la NMX-F-700-COFOCALEC, 2004		
	Límites	
	Mínimo	Máximo
Grasa butírica (g)	Clase A ≥ 32 Clase B mínimo 31 Clase C mínimo 30	
Proteína (g)	Clase A ≥ 31 Clase B 30 Clase C 28	30.9 29.9
Sólidos no grasos (%)	8.3	
Punto crioscópico (°C)	-0.560	-0.535
Densidad (g cm ³)	1.0295	
Acidez (°D)	13	17
Cuenta de células somáticas (cels. mL ⁻¹ de leche)	Clase 1 $\leq 400,000$ Clase 2 401,000 Clase 3 501,000 Clase 4 750,000	500,000 749,000 1000,000
Especificaciones para la NOM-155-SCFI- 2003		
Lactosa (%)	4.3	5.0
Caseína (%)	2.1	
Proporción de la caseína en la proteína	0.70	
Sólidos totales de la leche (%)	11.3	

Análisis estadístico

Las variables de calidad de leche fueron analizadas con el procedimiento Proc Means (SAS, 2001), con lo cual se obtuvieron los estadísticos descriptivos de la composición fisicoquímica de la leche por vaca individual. Para cada variable se obtuvieron distribuciones de frecuencia utilizando el procedimiento FREQ (SAS, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Grasa y proteína

Las distribuciones de frecuencia para las concentraciones de grasa y proteína se presentan en la Figura 1. La normatividad nacional vigente estipula, para grasa y proteína contenidos en la leche mayores o iguales que 3.2% y 3.1%, respectivamente, para que la leche califique en la categoría más alta o clase "A". Los promedios obtenidos en la muestra estuvieron por arriba del límite inferior de la especificación más alta de calidad y fueron 3.72% para grasa y 3.40% para proteína. El 67% de las muestras de leche para grasa y 75.4% de las muestras de leche para proteína se calificaron como clase "A" de la leche.

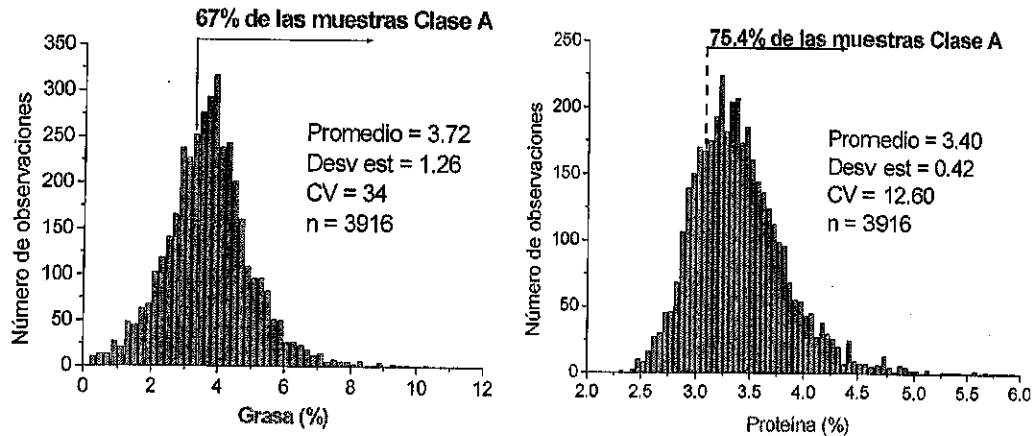


Figura 1. Distribuciones de frecuencia para las concentraciones de grasa y proteína en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México

Sólidos no grasos y sólidos totales

Las distribuciones de frecuencia para las concentraciones de SNG y ST se presentan en la Figura 2. La normatividad nacional vigente estipula un valor mínimo de 8.3% para SNG. Para ST la norma no especifica algún valor, pero considerando que éstos son la suma de los SNG y la grasa, se puede suponer un contenido mínimo de ST de 11.3%, que resulta de combinar la categoría más baja de grasa de 3.0% con el mínimo de 8.3% de SNG. Para ambos indicadores los promedios de 12.63% para ST y 8.76% para SNG obtenidos en las muestras estuvieron por arriba del mínimo requerido para la norma. Para SNG y para ST, la mayoría de las muestras de leche estuvieron por arriba del mínimo requerido por la normatividad vigente, 84.4 y 84%, respectivamente.

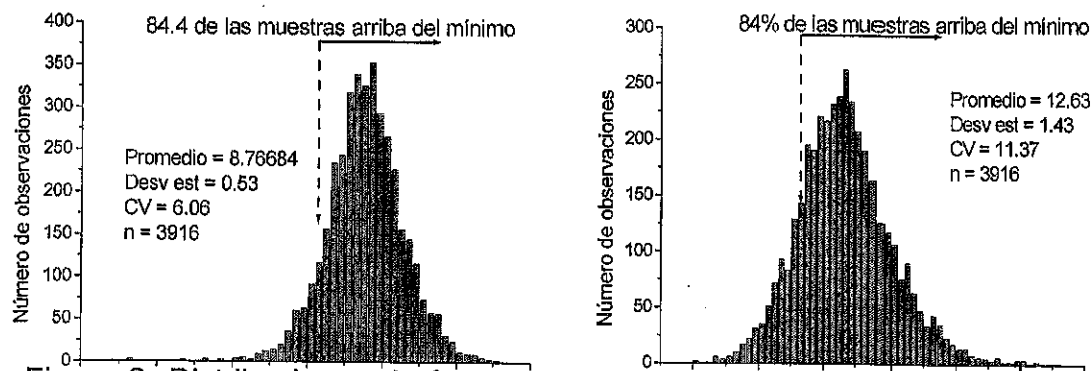


Figura 2. Distribuciones de frecuencia para las concentraciones de sólidos no grasos y sólidos totales en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México.

La nutrición es un factor ambiental que influye directamente en la composición fisicoquímica y sanitaria de la leche. Dietas altas en concentrado disminuyen la síntesis de grasa en un 50% o más. Además, muchas manipulaciones nutricionales como dietas altas en grasa, forrajes de partícula pequeña o grande y la adición de ionóforos, causan una disminución en el rendimiento de grasa de leche (Grummer, 1991). El porcentaje de proteína en leche no es afectada por el porcentaje de proteína de la dieta (Griinari *et al.*, 1996).

Caseína y lactosa

Las distribuciones de frecuencia para las concentraciones de caseína y lactosa se presentan en la Figura 3. La normatividad nacional vigente estipula un valor mínimo de 2.1% para caseína y un rango que va de 4.3 a 5.0% para lactosa. Para caseína el valor promedio de 2.71% estuvo por arriba del mínimo establecido y para lactosa el valor promedio de 4.52% estuvo dentro del rango

requerido por la norma. Para el porcentaje de caseína la mayoría (98%) de las muestras de leche estuvo por arriba del mínimo requerido por la norma; mientras que para lactosa el 83.6% de las muestras de leche estuvieron dentro del rango establecido por la normatividad vigente.

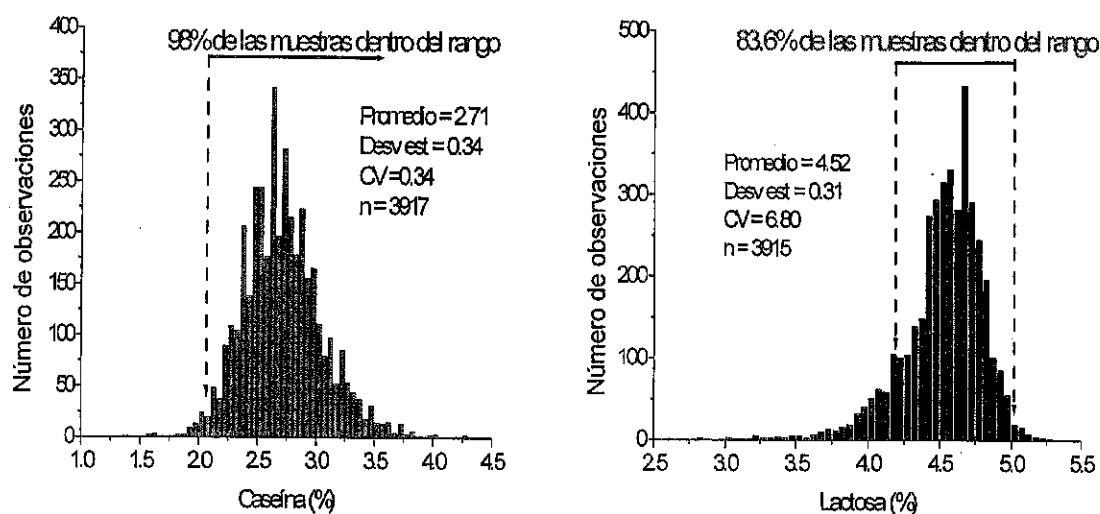


Figura 3. Distribuciones de frecuencia para las concentraciones de caseína y lactosa en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México.

Proporción caseína en la proteína

Las distribuciones de frecuencia para la proporción de caseína:proteína se presenta en la Figura 4. La normatividad nacional vigente estipula un valor mínimo de 0.7%. El promedio para las muestras de leche analizadas fue de 0.79%; el 95.5% de éstas estuvieron por arriba de este límite.

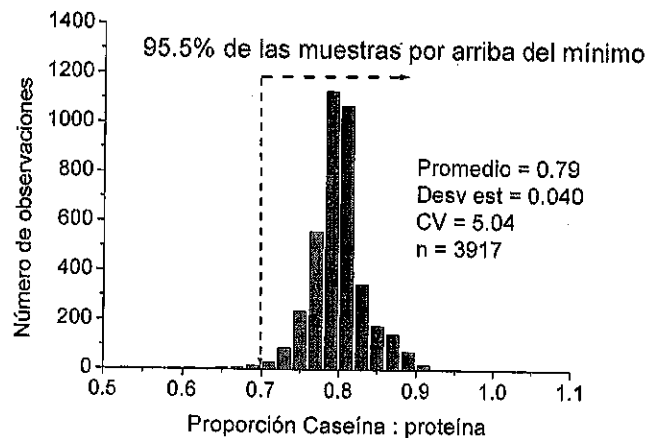


Figura 4. Distribuciones de frecuencia para la proporción caseína:proteína en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México.

Nitrógeno ureico en leche

Las distribuciones de frecuencia para las concentraciones de nitrógeno ureico en leche (NUL) se presentan en la Figura 5. La normatividad nacional vigente estipula un rango de 7 a 15 mg dL⁻¹ (COFOCALEC, 2004), sin embargo, en la literatura revisada (DePeters y Ferguson, 1992) establecieron un rango de 8 a 25 mg dL⁻¹, para mantener la homeostasis de la vaca, por lo cual se decidió comparar el promedio de las muestras analizadas con las dos fuentes. El promedio de NUL fue de 13.41 mg dL⁻¹ en las muestras de leche analizadas. El 54.4% de las muestras analizadas estuvieron dentro del rango requerido para la norma y el 98.9% de las muestras analizadas estuvieron dentro del rango establecido por la literatura revisada.

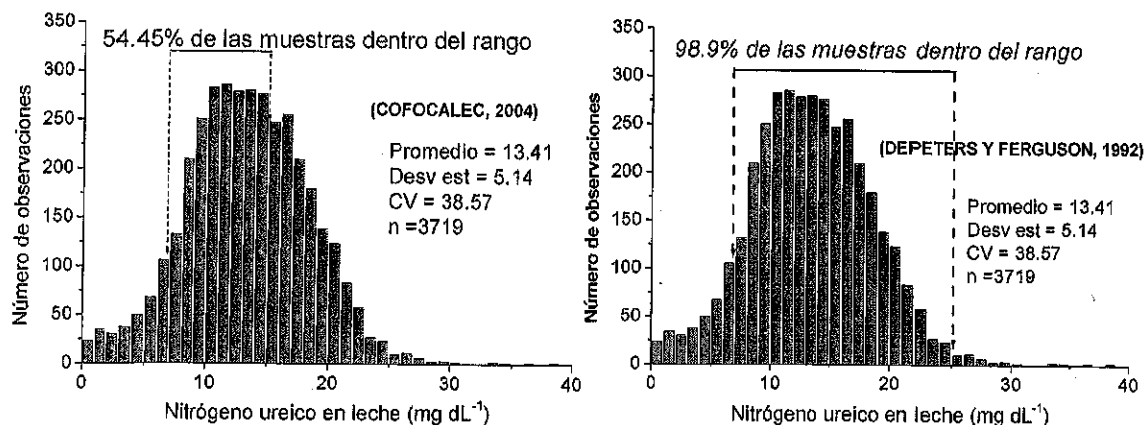


Figura 5. Distribuciones de frecuencia para nitrógeno ureico en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México

Un rango de NUL de 12 a 18 mg/100 mL es un valor apropiado cuando se evalúa a un grupo de vacas y de 8 a 25 mg/100 mL cuando es de forma individual. Para ambos casos, los valores de NUL menores a 12 mg/100 mL (1.1% de las muestras de leche) se consideran bajos, lo que indica un bajo contenido de proteína degradable de los alimentos. Por otro lado, valores superiores a 25 mg/100 mL de leche se consideran niveles altos (DePeters y Ferguson, 1992).

Acidez y crioscopia

Las distribuciones de frecuencia para acidez y crioscopia se presentan en la Figura 6. La normatividad nacional vigente estipula los rangos de 13 a 17°D para acidez y de -0.560 °C a -0.535 °C para crioscopia. Para acidez el valor promedio de las muestras fue 16.86 °D y para crioscopia el valor promedio fue

de -0.535°C , el cual es un valor que estuvo dentro del rango requerido para la norma. Para acidez el 50.7% de las muestras de leche estuvieron dentro del rango requerido por la norma y para crioscopia solamente el 26.28%.

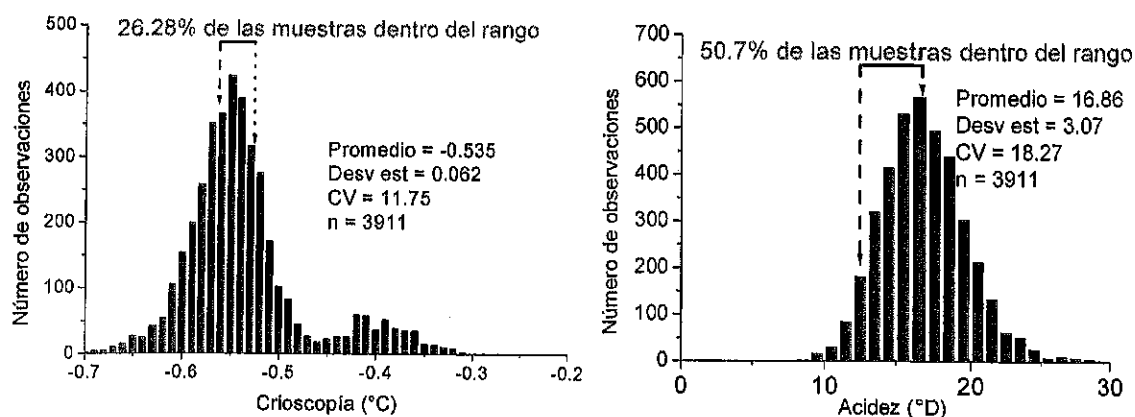


Figura 6. Distribuciones de frecuencia para crioscopia y acidez en leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México.

Densidad

Las distribuciones de frecuencia para densidad se presentan en la Figura 7. La normatividad nacional vigente estipula un mínimo de 1.0295 g mL^{-1} (COFOCALEC, 2004). En este estudio la densidad promedio fue de 1.030 g mL^{-1} en las muestras de leche analizadas, el 73.9% de las muestras analizadas estuvieron por arriba del mínimo requerido para la norma.

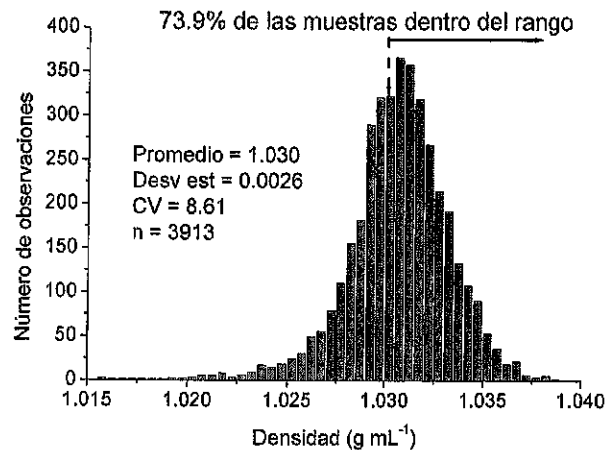


Figura 7. Distribuciones de frecuencia para densidad en muestras de leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México.

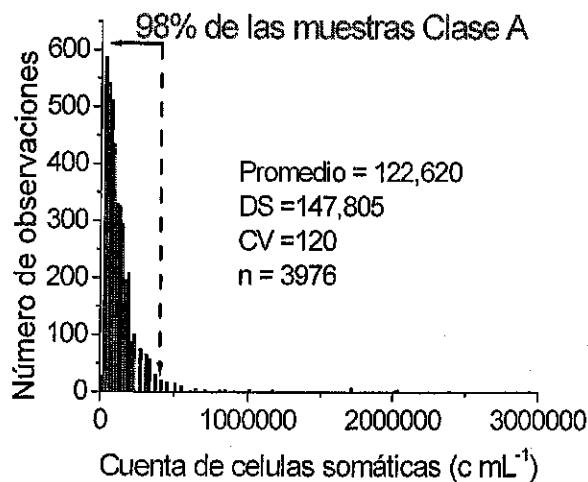


Figura 8. Distribuciones de frecuencia para cuenta de células somáticas en muestras de leche de vacas individuales de sistemas de doble propósito de Veracruz, México

Cuenta de células somáticas

La distribución de frecuencia para la cuenta de células somáticas se presenta en la Figura 8. El promedio de la cuenta de células somáticas fue de 122, 620 células/mL de leche. La normatividad vigente nacional especifica que la clase

"A" de leche debe tener una concentración menor o igual a 400, 000 células/mL de leche. Las muestras analizadas cumplieron ampliamente con el requerimiento y el 98% de ellas cayeron en la categoría "A".

CONCLUSIÓN

La leche de ganado bovino de doble propósito de ranchos del norte de Veracruz presentó bajas concentraciones de células somáticas y altos porcentajes de grasa, caseína, sólidos totales y sólidos no grasos, expresando en la mayoría de los casos estudiados una calidad por arriba de las especificaciones de la normatividad nacional vigente.

IMPLICACIÓN

La calidad de la leche varía en función de la raza, manejo y entre individuos, por lo que la industria lechera debe establecer el sistema de pagos por calidad de leche acorde con los sistemas de producción existentes.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo a los socios de la TENEK para el desarrollo del presente estudio y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero brindado al primer autor para la realización de sus estudios de posgrado.

LITERATURA CITADA

- COFOCALEC (Consejo para el Fomento de la Calidad de Leche). 2004. Norma Mexicana Oficial NMX-F-700-COFOCALEC-2004. Consultado el 15 de agosto de 2007.
- DePeters, J. E., and D. J. Ferguson. 1992. Non-protein nitrogen and protein distribution in the milk of cows. *Journal of Dairy Science* 75: 3192-3209.
- Griinari, J. H., M. A. McGuire, D. A. Dwyer, D. E. Barman, and D. L. Palmquist. 1996. Role of insulin in the regulation of milk fat synthesis in dairy cows. *Journal of Animal Science* 80: 1076-1084.
- Grummer, R. R. 1991. Effect of feed on the composition of milk fat. *Journal of Dairy Science* 74: 3244-3257.
- SAGARPA. 2004. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria. Claridades Agropecuarias, publicación mensual. México. p: 25.
- SAS. 2001. S.A.S. User's guide: Statistics 8th ed. SAS institute Inc., Cary, N.C. USA.
- SIAP (Sistema de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2007. Producción pecuaria en México. www.siap.gob.mx. Consultada el 20 de julio de 2007.

CAPÍTULO IV

INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES EN LA CALIDAD

DE LECHE CRUDA DE GANADO BOVINO DE DOBLE

PROPÓSITO EN VERACRUZ, MÉXICO

Escorza C. A. V.; García M. J. G.; Maldonado S. E.; Ramírez V. R. y Huerta B. M.

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de algunos factores ambientales sobre la calidad de la leche de ganado bovino de doble propósito en México, así como estimar el índice de constancia para las características evaluadas. Se colectaron muestras individuales de leche ($n = 2922$) de vacas de doble propósito ($n = 1,977$) provenientes de 66 ranchos del norte de Veracruz, México. En las muestras de leche se determinaron los porcentajes de grasa, proteína, lactosa, caseína, sólidos no grasos (SNG) y sólidos totales (ST); así como los contenidos de nitrógeno ureico en leche, cuenta de células somáticas (CCS), y las variables fisicoquímicas densidad, crioscopia y acidez. Para las muestras analizadas también se registraron las producciones en el día de muestreo para leche, grasa, proteína, lactosa, caseína, SNG y ST. En general, los efectos de número de parto de la vaca, ordeño, estación del año, municipio, rancho anidado en municipio, días de lactancia y producción de leche en el día de muestreo afectaron ($P < 0.05$) a las variables de calidad evaluadas. El índice de constancia para los porcentajes de grasa, proteína, ST, SNG, lactosa y caseína, fueron $0.15 (\pm 0.0064)$, $0.48 (\pm 0.0125)$, $0.22 (\pm 0.0086)$, $0.55 (\pm 0.1245)$, $0.58 (\pm 0.0122)$, y $0.47 (\pm 0.0125)$, respectivamente. Los estimadores del índice de constancia obtenidos en este estudio pueden utilizarse para el cálculo de las capacidades probables de producción de las vacas, con el fin de identificar las mejores de acuerdo con la característica de interés.

Palabras clave: Factores ambientales, Producción de leche, Bovinos de doble propósito.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effect of some environmental factors on milk quality of dual purpose cattle in México, and to estimate the repeatability of the milk quality traits evaluated. Individual milk samples ($n = 2922$) of dual purpose cows ($n = 1,977$) representing 66 farms from northern Veracruz, México. In milk samples it was determined the percentages of fat, protein, lactose, casein, solids non fat (SNF), and total solids (TS), as well as the contents of milk urea nitrogen (MUN), somatic cell count (SCC), and the physicochemical variables density, freeze point depression, and acidity. Yields of milk, fat, protein, lactose, casein, SNF, and TS were recorded for each cow during the test date. In general, effects of calving number, milking, season, municipality, farm nested within municipality, days in milk, and yield of milk on test date affected ($P < 0.05$) the milk quality variables evaluated. The repeatability for the percentages of fat, protein, TS, SNF, lactose, and casein were $0.15 (\pm 0.0064)$, $0.48 (\pm 0.0125)$, $0.22 (\pm 0.0086)$, $0.55 (\pm 0.1245)$, $0.58 (\pm 0.0122)$ y $0.47 (\pm 0.0125)$, respectively. The repeatability estimates obtained in this study may be utilized to calculate the cows' most probable producing ability, to identify the best ones according with the trait of interest.

Key words: Environmental factors, Milk Yield, Dual purpose cattle.

INTRODUCCIÓN

Santos (1995) define a la leche como la secreción de las glándulas mamarias de los mamíferos que proporciona los nutrimentos y protección inmunológica a sus crías. La leche está constituida por agua y una compleja dispersión de proteínas, lípidos, lactosa y minerales (sólidos de la leche). Sheen y Riesco (2002) mencionan que el contenido de agua y sólidos totales de la leche están en función de factores ambientales como la raza, nutrición, manejo del hato, etapa de lactancia, condiciones de almacenamiento y transporte, etc. En la práctica, ciertos factores resultan poco o nada modificables por el productor (etapa de la lactancia, estado fisiológico, fotoperíodo), mientras que otros, como la alimentación, la sanidad y la genética, pueden ser manipulados.

La raza es un factor muy importante que influye en la producción y composición de la leche. El rendimiento anual de unas razas con respecto a otras puede ser doble o triple, también las variaciones en el contenido de sólidos totales son considerables. La grasa es el elemento cuyo porcentaje es menos constante, mientras que la lactosa es el componente más estable (Veisseyre, 1988). Estudios realizados sobre factores que influyen en la producción de leche en trópico húmedo, coinciden que el mejor comportamiento productivo lo presentan vacas de medio mestizaje europeo (Sheen y Riesco, 2002; Vite *et al.*, 2007; García, 2005).

La calidad de la leche es el conjunto de propiedades fisicoquímicas que le confieren la aptitud de satisfacer las necesidades implícitas y explícitas para su

uso y consumo (COFOCALEC, 2004). La calidad fisicoquímica de la leche evalúa los constituyentes de los sólidos totales (en específico del contenido de grasa, proteína, sólidos no grasos, caseína y lactosa), la densidad, crioscopia y acidez; mientras que la calidad sanitaria de la leche está en función de la cuenta de células somáticas (cels/ mL) y la carga bacteriana (UFC/mL).

En las regiones tropicales húmedas de México, la producción de leche se realiza fundamentalmente en el sistema de doble propósito tradicional con ordeño manual y apoyo del becerro al pie de la vaca, como estímulo para la bajada de la leche. Sin embargo, en los últimos años se ha extendido el uso de un sistema de producción de doble propósito enfocado a la producción de leche, donde la vaca se ordeña mecánicamente y con la aplicación de oxitocina. En ambos sistemas, la comercialización de la leche se realiza en forma cruda, de manera directa a las plantas o empresas transformadoras, las cuales exigen una determinada calidad de leche mediante el sistema de pago de premios y castigos.

En la actualidad, existen pocos estudios sobre la calidad fisicoquímica y sanitaria de la leche, los cuales se caracterizan por ser elaborados en sistemas especializados y el único factor evaluado es la cuenta de células somáticas. La elevación de la cuenta de células somáticas llega a causar una reducción en la producción de leche, y también altera su composición. Este factor afecta negativamente la calidad y cantidad de los productos lácteos (Loor y Jones 1998; Philpot, 2001). La cuenta de células somáticas depende de factores del animal. Philpot (2001) reporta que los principales factores que afectan el

contenido de células somáticas en leche son: edad de la vaca, fase de la lactancia y producción láctea. Sin embargo, no se encontraron estudios que evaluaran otros factores que influyen en la calidad fisicoquímica de la leche, como son el genotipo del animal, número de lactancia, mes de lactancia, alimentación, entre otros, en condiciones tropicales.

En consideración con lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos genéticos y ambientales sobre los componentes de leche cruda de ganado bovino de doble propósito de ranchos ubicados en el norte de Veracruz, y estimar los efectos de la cuenta de células somáticas sobre los componentes de leche cruda.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se realizó en 66 ranchos, ubicados en los municipios de: Ozuluama, Chicontepec, Tampico Alto, Tantoyuca, Tempoal, Ixcatepec, Pueblo Viejo, Tuxpan, Tepetzintla y Tamalín, localizados en el norte de Veracruz. El periodo de estudio fue del 15 de agosto de 2005 al 15 de noviembre de 2006. Los municipios se localizan entre los paralelos 20° 57' y 22° 11' latitud norte y entre 97° 29' y 98° 23' longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar que comprende desde los 10 hasta los 260 metros. Es una zona donde predomina el clima cálido extremo con una temperatura promedio anual de 23 °C y una precipitación media anual de 1308 mm.

El manejo del ganado lactante, alimentación, pastoreo, reproducción y colección de muestras se describe en el Capítulo III.

Hatos estudiados

La estructura factorial del estudio se presenta en la Cuadro 8. En total se obtuvo información de la calidad de leche de 1977 vacas individuales de 66 ranchos, durante un periodo de 15 meses que comprende la época de lluvias y época seca.

Cuadro 8. Estructura de la base de datos editada del estudio para evaluar la calidad de leche cruda en hatos de bovinos de doble propósito en el Norte de Veracruz, México.

Municipio	Número		
	Ranchos	Vacas	Observaciones
Ozuluama	25	815	1118
Pueblo Viejo	1	32	32
Tepetzintla	10	257	265
Ixcatepec	7	134	220
Tamalín	1	60	106
Tampico Alto	9	269	574
Tempoal	6	241	409
Tuxpan	2	38	38
Chicontepec	2	35	60
Tantoyuca	3	96	100
Total	66	1977	2922

Variables medidas

La información que se generó en este estudio, correspondió a variables registradas por el productor, como genotipo, producción de leche, fecha y número de parto de las vacas; y a variables generadas durante el proceso de investigación que comprenden: cuenta de células somáticas (CCS), contenido

de grasa (%), proteína (%), sólidos no grasos (SNG, %), agua adicionada en leche (%), densidad (g/mL), punto crioscópico (° C), contenido de caseína (%) y nitrógeno ureico (%).

Análisis estadístico

Las variables de calidad de leche fueron analizadas con el procedimiento Proc Means (SAS, 2001), con lo cual se obtuvieron los estadísticos descriptivos de la composición fisicoquímica de la leche por vaca individual. Para determinar el efecto de los factores ambientales se utilizó el procedimiento Proc Mixed (SAS, 2001), ajustándose el modelo siguiente:

$$Y_{ijklmn} = \mu + NParto_i + Ordeño_j + Estación_k + Municipio_l + Rancho(Municipio)_{lm} + V(Rancho Municipio)_{lmn} + b_{1:1}(DEL - \hat{\mu}_{DEL}) + b_{2:1}(DEL - \hat{\mu}_{DEL})^2 + b_{3:1}(DEL - \hat{\mu}_{DEL})^3 + b_{1:2}(PL - \hat{\mu}_{PL}) + b_{2:2}(PL - \hat{\mu}_{PL})^2 + b_{3:2}(PL - \hat{\mu}_{PL})^3 + b_{1:3}(PCTGEU - \hat{\mu}_{PCTGEU}) + e_{ijklmn}$$

Donde:

Y_{ijklmn} es la variable respuesta siendo modelada; μ es la media general; $NParto_i$ es el efecto fijo del i-ésimo número de parto de la vaca ($i = 1, 2, 3, 4, 5$); $Ordeño_j$ es el efecto fijo del j-ésimo ordeño de la vaca ($j = am, pm$); $Estación_k$ es el efecto fijo de la k-ésima estación del año de muestreo (invierno-primavera, verano-otoño); $Municipio_l$ es el efecto fijo del l-ésimo municipio; $Rancho(Municipio)_{lm}$ es el efecto fijo del m-ésimo rancho (1,2,..., 66) anidado en

el l -ésimo municipio; V (Rancho Municipio) $_{lmn}$ es el efecto aleatorio de la n -ésima vaca ($n = 1, \dots, 1977$), anidada en el m -ésimo rancho y el l -ésimo municipio $\sim \text{NID}(0, \sigma_v^2)$; DEL es el día de lactancia de la vaca en el día de muestreo como covariable; $b_{1:1}$, $b_{2:1}$ $b_{3:1}$ son los coeficientes de regresión lineal, cuadrático y cúbico asociados con el día de lactancia de la vaca en el día de muestreo; PL es la producción de leche de la vaca en el día de muestreo como covariable; $b_{1:2}$, $b_{2:2}$ y $b_{3:2}$ son los coeficientes de regresión lineal, cuadrático y cúbico asociados con la producción de leche (kg/vaca/día) en el día de muestreo; PCTGEU es el porcentaje de genes de razas europeas como covariable; $b_{1:3}$ es el coeficiente de regresión lineal asociado con el porcentaje de genes de razas europeas; μ_{DEL} es la media estimada de la covariable días en lactancia de la vaca en el día del muestreo; μ_{PL} es la media estimada de la covariable producción de leche (kg/vaca/día) en el día de muestreo, μ_{PCTGEU} es la media estimada de la covariable porcentaje de genes de razas europeas y e_{ijklm} es el efecto residual, $\sim \text{NID}(0, \sigma_e^2)$.

Las variables de cantidad de los componentes de la leche cruda de vaca fueron analizadas con el procedimiento Proc Means (SAS, 2001), con lo cual se obtuvieron los estadísticos descriptivos de la composición fisicoquímica de la leche por vaca individual. Para determinar el efecto de los factores ambientales se utilizó el procedimiento Proc Mixed (SAS, 2001), ajustándose el modelo siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + NParto_i + Estación_j + Municipio_k + Rancho (Municipio)_{kl} + V(Rancho Municipio)_{klm} + b_{1:1}(DEL - \bar{\mu}_{DEL}) + b_{2:1}(DEL - \bar{\mu}_{DEL})^2 + b_{3:1}(DEL - \bar{\mu}_{DEL})^3 + e_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} es la variable respuesta siendo modelada; μ es la media general; $NParto_i$ es el efecto fijo del i-ésimo número de parto de la vaca ($i = 1, 2, 3, 4, 5$); $Estación_j$ es el efecto fijo del j-ésima estación del año de muestreo (invierno-primavera, verano-otoño); $Municipio_k$ es el efecto fijo del k-ésimo municipio; $Rancho(Municipio)_{kl}$ es el efecto fijo del l-ésimo rancho (1,2,..., 66) anidado en el k-ésimo municipio; $V(Rancho Municipio)_{klm}$ es el efecto aleatorio de la m-ésima vaca ($m = 1, \dots, 1977$) anidada en el l-ésimo rancho y el k-ésimo municipio $\sim NID(0, \sigma_v^2)$; DEL es el día de lactancia de la vaca en el día de muestreo como covariable; $b_{1:1}$, $b_{2:1}$, $b_{3:1}$ son los coeficientes de regresión lineal, cuadrático y cúbico asociados con el día de lactancia de la vaca en el día de muestreo; $\bar{\mu}_{DEL}$ es la media estimada de la covariable días en lactancia de la vaca en el día del muestreo y e_{ijklm} es el efecto residual, $\sim NID(0, \sigma_e^2)$.

Índice de constancia

Una vez obtenido el modelo de mejor ajuste se estimaron los componentes de varianza para los efectos aleatorios de vaca y residual. Con estos componentes se estimó el índice de constancia o repetibilidad (r) para las variables de respuesta, utilizando la siguiente expresión (Becker, 1984):

$$\hat{r} = \frac{\hat{\sigma}_v^2}{(\hat{\sigma}_v^2 + \hat{\sigma}_e^2)}$$

Donde:

$\hat{r}$ = estimador del índice de constancia o repetibilidad,

$\hat{\sigma}_v^2$ = estimador del componente de varianza de vaca,

$\hat{\sigma}_e^2$ = estimador del componente de varianza residual.

El error estándar aproximado del índice de constancia [S.E. ($\hat{r}$)] se obtuvo mediante la siguiente expresión, descrita por Becker (1984):

$$S.E.(\hat{r}) \cong \sqrt{\frac{2(m.-1)(1-\hat{r})^2[1+(k_1-1)\hat{r}]^2}{k_1^2(m.-N)(N-1)}}$$

Donde:

$S.E.(\hat{r})$ = error estándar del índice de constancia o repetibilidad,

$m.$ = número total de observaciones,

$$k_1 = \left(\frac{1}{N-1} \right) \left[m. - \left(\frac{\sum m_k^2}{m.} \right) \right],$$

N = Número total de vacas involucradas en el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 9 se presentan los estadísticos descriptivos de los datos, como el número de muestras analizadas para cada variable y el día de lactancia en el día de muestreo, el valor de la media, máximo y mínimo, la desviación estándar y el coeficiente de variación. La producción de leche en el día de muestreo fue de 9.0 ± 4.15 kg, con una producción de leche estimada de 2421 kg/vaca/lactancia.

Factores asociados con la calidad de la leche

En los Cuadros 10, 11 y 12 se presentan los valores de probabilidad para los efectos fijos, interacciones y covariables incluidos en los modelos para cada una de las variables analizadas.

Número de parto

Los porcentajes de SNG, lactosa, caseína y la proporción caseína: proteína, así como la densidad, crioscopia, la cantidad de grasa y sólidos totales fueron influenciados ($p < 0.05$) por el número de parto (Cuadros 10, 11 y 12). Los mayores porcentajes de SNG (8.5%), lactosa (4.5%) y caseína (2.7%), se obtuvieron en las muestras de leche de vacas de uno a cuatro partos y los menores porcentajes (8.4, 4.4 y 2.7%) en las muestras de leche de vacas de cinco partos, respectivamente.

Cuadro 9. Estadísticos descriptivos para composición, producción diaria de leche y componentes, propiedades fisicoquímicas y concentración de metabolitos, días en leche y cuenta de células somáticas de la leche de ganado bovino de doble propósito.

Variable	n	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Composición de la leche (%)						
Grasa	3218	0.24	8.97	3.73	1.26	33.8
Proteína	3222	2.34	5.60	3.41	0.43	12.6
Sólidos totales	3222	8.09	19.00	12.65	1.45	11.4
Sólidos no grasos	3218	6.21	10.58	8.78	0.52	5.9
Lactosa	3212	3.04	5.26	4.53	0.28	6.2
Caseína	3222	1.57	4.35	2.72	0.34	12.5
Índice de caseína ¹	3214	0.61	0.99	0.80	0.04	4.5
Producción diaria de leche y componentes (kg/vaca/día)						
Leche	2749	1.00	34.30	9.00	4.15	46.2
Grasa	2452	0.01	1.46	0.30	0.16	51.7
Proteína	2454	0.00	1.07	0.28	0.13	44.4
Sólidos totales	2449	0.13	3.68	1.05	0.49	46.5
Sólidos no grasos	2484	0.00	2.94	0.73	0.36	49.1
Lactosa	2453	0.00	1.52	0.38	0.19	49.6
Caseína	2478	0.00	5.02	0.85	0.57	67.7
Propiedades fisicoquímicas y metabolitos						
Acidez (°D)	3217	8.1	29.1	16.9	2.9	17.1
Crioscopia (°C)	3214	-0.694	-0.301	-0.537	0.063	11.8
Densidad (g/mL)	3212	1.020	1.039	1.031	0.003	0.25
NUL (mg/dl) ²	3059	0.140	30.2	13.0	5.0	38.4
CCS (cel/mL) ³	3250	16667	2100000	124568	148383	119.1
ELCCS ⁴	3250	0.0	7.0	2.8	1.15	41.5
Día de lactancia en el día de muestreo	3876	7.0	599.0	189.7	114.6	60.4

¹ Índice de caseína = Caseína(%)/Proteína(%); ²NUL = Nitrógeno ureico en leche; ³CCS = Cuenta de células somáticas (células mL⁻¹ de leche); ⁴ELCCS = Escala lineal de la cuenta de células somáticas.

La menor acidez (16 °D) se obtuvo en las muestras de leche de vacas de primer parto; mientras que la menor densidad (1.030 g/mL) se obtuvo en las muestras de leche de vacas del quinto parto. La mayor crioscopia (-0.47 °C) se obtuvo en muestras de vacas del quinto parto.

Cuadro 10. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos principales, las interacciones de primer orden y de las covariables día de lactancia, producción de leche y porcentaje de genes europeos en el día de muestreo, sobre las variables de calidad de leche cruda de ganado bovino de doble propósito.

Fuente de variación	Grasa (%)	Proteína (%)	ST ¹ (%)	SNG ² (%)	Lactosa (%)	Caseína (%)	Cas: Prot. ³
Número de parto (P)	0.4414	0.1208	0.0954	0.0009	<.0001	0.0025	<.0001
Ordeño (O)	0.0011	<.0001	0.022	<.0001	0.1314	0.0001	0.0003
Estación (E)	<.0001	0.679	<.0001	<.0001	0.5296	<.0001	<.0001
Municipio (M)	<.0001	0.007	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Rancho (M)	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
P*E	0.0334	<.0001	0.0025	0.0003	-----	<.0001	-----
O*E	-----	-----	<.0001	0.0015	-----	-----	-----
O*M	<.0001	<.0001	0.0095	<.0001	-----	0.0001	<.0001
E*M	0.0066	<.0001	-----	-----	-----	<.0001	<.0001
Día de lactancia en el día de muestreo							
Lineal	<.0001	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0042	0.0009
Cuadrático	0.0002	<.0001	0.0178	<.0001	-----	<.0001	<.0001
Cúbico	-----	<.0001	-----	<.0001	-----	<.0001	<.0001
Producción de leche (kg/vaca/d) en el día de muestreo							
Lineal	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Cuadrático	0.0112	<.0001	0.0009	-----	<.0001	<.0001	<.0001
Cúbico	-----	-----	-----	-----	<.0001	-----	0.0017
Porcentaje de genes europeos							
Lineal	-----	-----	0.0039	0.0129	-----	-----	-----

¹ ST= Sólidos totales; ² SNG= Sólidos no grasos; ³Proporción caseína: proteína= Caseína (%)/Proteína (%)

La interacción número de parto por la estación del año, fue significativa ($p < 0.05$) para la mayoría de la variables analizadas. La interacción número de parto por municipio fue importante para acidez y la cantidad de leche, grasa, proteína, lactosa, SNG, ST y caseína producidos en el día de muestreo. Estos resultados coincidieron con los reportados por Chi y Cruz (2005), quienes concluyeron que el número de parto de la vaca influyó en la producción y calidad fisicoquímica de la leche, para vacas de doble propósito en condiciones de trópico húmedo.

Cuadro 11. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos principales, las interacciones de primer orden y de las covariables día de lactancia, producción de leche y porcentaje de genes europeos en el día de muestreo, sobre las variables propiedades fisicoquímicas y los contenidos de metabolitos y cuenta de células somáticas de leche cruda de ganado bovino de doble propósito.

Fuente de variación	NUL ¹ (mgdL ⁻¹)	Acidez (°D)	CCS ² (cel mL ⁻¹)	ELCCS ³	Densidad (g/mL)	Crioscopia (°C)
Número de parto (P)	0.1024	0.0074	0.3914	0.15	0.0114	<.0106
Ordeño (O)	<.2286	0.0001	0.7952	0.4296	0.0002	0.0001
Estación (E)	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Municipio (M)	<.0001	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Rancho (M)	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
P*E	-----	-----	-----	0.0149	-----	-----
P*M	-----	-----	-----	-----	-----	-----
O*M	-----	-----	-----	-----	<.0001	-----
O*E	0.0047	-----	-----	-----	-----	-----
E*M	-----	-----	-----	-----	<.0001	-----
Día de lactancia en el día de muestreo						
Lineal	-----	<.0001	-----	0.0132	<.0001	<.0001
Cuadrático	-----	-----	-----	-----	<.0001	-----
Cúbico	-----	-----	-----	-----	<.0001	-----
Producción de leche (kg/vaca/d) en el día de muestreo						
Lineal	0.0001	<.0001	-----	-----	0.0011	<.0001
Cuadrático	0.0003	<.0001	-----	-----	0.0104	<.0001
Cúbico	-----	-----	-----	-----	0.0255	-----
Porcentaje de genes europeos						
Lineal	-----	-----	-----	-----	-----	0.0051

¹ NUL= Nitrógeno ureico en leche; ² CCS= Cuenta de células somáticas (Células mL⁻¹ de leche); ³ELCCS = Escala lineal de la cuenta de células somáticas.

En este estudio se observó que los porcentajes de SNG y caseína disminuyeron en 0.1%, de la primera a la quinta lactación. En cambio, Donald *et al.* (1986) reportan que el porcentaje de grasa y los SNG de la leche disminuyen cerca de 0.2 y 0.4%, respectivamente, entre la primera y la quinta lactación.

Cuadro 12. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos principales, las interacciones de primer orden y de las covariables día de lactancia en el día de muestreo, sobre la producción diaria de componentes de la leche de ganado bovino de doble propósito.

Fuente de variación	Leche	Grasa	Proteína	Lactosa	SNG ¹	ST ²	Caseína
Número de parto (P)	0.2385	0.0399	0.0998	0.1214	0.0951	0.0469	0.5447
Estación (E)	0.0706	<.0001	0.1938	0.0325	0.0191	0.0003	<.0001
Municipio (M)	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Rancho (M)	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
P*M	0.0013	0.0093	0.0076	0.0057	0.0044	0.0021	-----
E*M	<.0001	-----	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	-----
Días de lactancia en el día de muestreo							
Lineal	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0079
Cuadrático	<.0001	-----	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	-----

¹ SNG = Sólidos no grasos; ²ST = Sólidos totales

Esto se debe a que existe un deterioro de la ubre de la vaca con el uso y edad, aumentando la incidencia de mastitis, lo que provoca una menor producción de grasa y SNG de la leche. Después de la quinta lactación, hay pocos cambios en los constituyentes de la leche.

El efecto de número de parto no fue significativo ($p < 0.05$) para el contenido de NUL (Cuadro 11), no habiendo diferentes significativas entre las concentraciones de NUL por número de parto (Cuadro 14). Lo anterior es opuesto a lo reportado por Pedraza *et al.* (2006), quienes mencionan que el número de parto es un factor que influye en la concentración normal de NUL en las vacas; ellos encontraron que las vacas de primer parto por lo general presentan menor concentración de NUL que vacas de segundo o más partos.

Horario de ordeño

El horario de ordeño influyó ($p<0.05$) en la mayoría de las variables de composición de la leche, y en la acidez, la densidad y la crioscopia (Cuadros 13, 14 y 15). Los mayores porcentajes de grasa (4.1%), ST (12.7%) y caseína (2.8%) se obtuvieron en el ordeño de la tarde. Mientras que los mayores porcentajes de SNG (8.6%), proteína (3.4%) y las mayores lecturas de acidez (17°D) y densidad (1.031g/mL) se obtuvieron en el ordeño de la mañana.

Cuadro 13. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para las variables de concentración de componentes en la leche de ganado bovino de doble propósito.

Efecto	Variable (%)						
	Grasa	Proteína	ST ¹	SNG ²	Lactosa	Caseína	Cas:Prot ³
No. Parto							
1	3.9 $\pm$ 0.09	3.3 $\pm$ 0.03	12.6 $\pm$ 0.11	8.5 $\pm$ 0.04 ^a	4.5 $\pm$ 0.02 ^a	2.7 $\pm$ 0.02	0.83 $\pm$ 0.002 ^a
2	3.8 $\pm$ 0.10	3.3 $\pm$ 0.03	12.6 $\pm$ 0.12	8.5 $\pm$ 0.04 ^a	4.5 $\pm$ 0.02 ^{ac}	2.7 $\pm$ 0.03	0.82 $\pm$ 0.002 ^{ab}
3	3.8 $\pm$ 0.09	3.3 $\pm$ 0.03	12.6 $\pm$ 0.11	8.5 $\pm$ 0.04 ^a	4.5 $\pm$ 0.02 ^{bc}	2.7 $\pm$ 0.02	0.82 $\pm$ 0.002 ^{bc}
4	3.7 $\pm$ 0.10	3.3 $\pm$ 0.03	12.4 $\pm$ 0.12	8.4 $\pm$ 0.04 ^{ab}	4.5 $\pm$ 0.02 ^{bc}	2.7 $\pm$ 0.03	0.82 $\pm$ 0.002 ^b
5	3.8 $\pm$ 0.09	3.3 $\pm$ 0.02	12.4 $\pm$ 0.10	8.4 $\pm$ 0.03 ^b	4.4 $\pm$ 0.01 ^b	2.7 $\pm$ 0.02	0.82 $\pm$ 0.002 ^c
Ordeño							
Mañana	3.6 $\pm$ 0.06 ^b	3.4 $\pm$ 0.02 ^a	12.4 $\pm$ 0.07 ^b	8.6 $\pm$ 0.02 ^a	4.5 $\pm$ 0.01 ^a	2.8 $\pm$ 0.02 ^a	0.82 $\pm$ 0.001 ^b
Tarde	4.1 $\pm$ 0.13 ^a	3.2 $\pm$ 0.04 ^b	12.7 $\pm$ 0.16 ^a	8.4 $\pm$ 0.05 ^b	4.5 $\pm$ 0.01 ^a	2.7 $\pm$ 0.03 ^b	0.83 $\pm$ 0.003 ^a
Estación							
O - I ⁴	4.0 $\pm$ 0.06 ^a	3.4 $\pm$ 0.02 ^a	12.9 $\pm$ 0.08 ^a	8.7 $\pm$ 0.02 ^a	4.5 $\pm$ 0.01 ^a	2.7 $\pm$ 0.02 ^b	0.79 $\pm$ 0.001 ^b
P - V ⁵	3.6 $\pm$ 0.11 ^b	3.3 $\pm$ 0.03 ^b	12.1 $\pm$ 0.13 ^b	8.3 $\pm$ 0.04 ^b	4.5 $\pm$ 0.01 ^a	2.8 $\pm$ 0.02 ^a	0.85 $\pm$ 0.002 ^a

Medias dentro de columna y efecto con distinta literal, son diferentes ($p<0.05$).

¹ST= Sólidos totales; ²SNG= Sólidos no grasos.

³Cas:Prot= Proporción caseína en la proteína.

⁴O - I = Otoño - Invierno; ⁵P-V = Primavera - Verano.

La interacción ordeño por estación del año fue significativa para los porcentajes ST y SNG. La interacción ordeño por municipio fue importante para todas las variables de composición de la leche, así como para acidez, densidad y

crioscopia. Estos resultados coinciden con los reportados por Henry *et al.* (1960), Lacy-Hulbert *et al.* (1999) y Ortiz (2005), quienes concluyeron que el ordeño es un factor que influye directamente sobre la producción y calidad fisicoquímica de la leche.

Según Henry *et al.* (1960) y Lacy-Hulbert *et al.* (1999), la producción y composición de la leche varía con respecto al horario de ordeño; la mayor producción y composición de la leche se cosecha en el ordeño de la mañana y la menor en el ordeño de la tarde. Esto se debe a que el intervalo entre la comida y el ordeño de la mañana siguiente es mayor que el intervalo entre mañana y tarde del mismo día.

Cuadro 14. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para las variables de propiedades fisicoquímicas, metabolitos y cuenta de células somáticas de ganado bovino de doble propósito.

Efecto		Variable				
No. Parto	NUL (mg/dL)	Acidez (°D)	CCS (cels/mL)	ELCCS	Densidad (g/mL)	Crioscopia (°D)
1	10.1 $\pm$ 0.22	16.0 $\pm$ 0.16 ^b	113379 $\pm$ 8981	2.6 $\pm$ 0.067	1.031 $\pm$ 0.0002 ^a	-0.48 $\pm$ 0.002 ^a
2	9.8 $\pm$ 0.21	16.5 $\pm$ 0.16 ^a	124897 $\pm$ 8875	2.8 $\pm$ 0.070	1.031 $\pm$ 0.0002 ^a	-0.48 $\pm$ 0.002 ^a
3	9.6 $\pm$ 0.21	16.5 $\pm$ 0.16 ^a	108774 $\pm$ 8868	2.7 $\pm$ 0.068	1.031 $\pm$ 0.0002 ^a	-0.48 $\pm$ 0.002 ^a
4	9.5 $\pm$ 0.22	16.6 $\pm$ 0.16 ^a	116799 $\pm$ 9328	2.7 $\pm$ 0.073	1.031 $\pm$ 0.0002 ^a	-0.48 $\pm$ 0.002 ^a
5	9.6 $\pm$ 0.20	16.4 $\pm$ 0.13 ^a	121135 $\pm$ 7928	2.8 $\pm$ 0.057	1.030 $\pm$ 0.0002 ^b	-0.47 $\pm$ 0.002 ^b
Ordeño						
Mañana	9.6 $\pm$ 0.16 ^a	17.0 $\pm$ 0.11 ^a	117762 $\pm$ 6681 ^a	2.7 $\pm$ 0.047 ^a	1.031 $\pm$ 0.0001 ^a	-0.49 $\pm$ 0.002 ^b
Tarde	9.8 $\pm$ 0.20 ^a	15.8 $\pm$ 0.13 ^b	116232 $\pm$ 7887 ^a	2.7 $\pm$ 0.056 ^a	1.030 $\pm$ 0.0003 ^b	-0.47 $\pm$ 0.002 ^a
Estación						
O – I ¹	14.1 $\pm$ 0.12 ^a	16.8 $\pm$ 0.10 ^a	144361 $\pm$ 5326 ^b	3.1 $\pm$ 0.037 ^a	1.030 $\pm$ 0.0001 ^b	-0.55 $\pm$ 0.0013 ^a
P – V ²	5.4 $\pm$ 0.25 ^b	16.1 $\pm$ 0.16 ^b	89632 $\pm$ 10328 ^a	2.3 $\pm$ 0.074 ^b	1.031 $\pm$ 0.0002 ^a	-0.41 $\pm$ 0.002 ^b

Medias dentro de columna y efecto con distinta literal, son diferentes ($p < 0.05$).

¹O – I = Otoño - Invierno; ²P-V = Primavera – Verano.

La concentración de NUL no fue influenciada por el horario de ordeño (Cuadros 11 y 14). Estos resultados son opuestos a los reportados por Godden *et al.* (2001), quienes reportaron una concentración de NUL de 68% más baja en el ordeño de la mañana que el de la tarde.

Cuadro 15. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para las variables de producción de Componentes en el día de muestreo de ganado bovino de doble propósito.

Efecto No. Parto	Variable (kg/v/d)						
	Leche	Grasa	Proteína	ST ¹	SNG ²	Lactosa	Caseína
1	10.5 $\pm$ 0.37	0.28 $\pm$ 0.01	0.31 $\pm$ 0.01	1.10 $\pm$ 0.05	0.80 $\pm$ 0.04	0.42 $\pm$ 0.02	0.98 $\pm$ 0.05
2	11.0 $\pm$ 0.39	0.32 $\pm$ 0.01	0.34 $\pm$ 0.01	1.22 $\pm$ 0.05	0.87 $\pm$ 0.04	0.45 $\pm$ 0.02	1.07 $\pm$ 0.05
3	11.5 $\pm$ 0.42	0.32 $\pm$ 0.01	0.35 $\pm$ 0.01	1.22 $\pm$ 0.05	0.88 $\pm$ 0.04	0.46 $\pm$ 0.02	0.99 $\pm$ 0.05
4	10.7 $\pm$ 0.56	0.27 $\pm$ 0.02	0.31 $\pm$ 0.01	1.07 $\pm$ 0.06	0.78 $\pm$ 0.04	0.41 $\pm$ 0.03	0.99 $\pm$ 0.05
5	11.3 $\pm$ 0.65	0.29 $\pm$ 0.02	0.34 $\pm$ 0.02	1.18 $\pm$ 0.07	0.86 $\pm$ 0.05	0.45 $\pm$ 0.03	0.98 $\pm$ 0.04
Estación							
O - I ³	10.1 $\pm$ 0.20 ^b	0.33 $\pm$ 0.01 ^a	0.31 $\pm$ 0.01 ^b	1.15 $\pm$ 0.02	0.80 $\pm$ 0.02	0.42 $\pm$ 0.01	1.30 $\pm$ 0.03
P - V ⁴	11.5 $\pm$ 0.45 ^a	0.26 $\pm$ 0.01 ^b	0.34 $\pm$ 0.01 ^a	1.14 $\pm$ 0.05	0.85 $\pm$ 0.04	0.44 $\pm$ 0.02	0.71 $\pm$ 0.06

Medias dentro de columna y efecto con distinta literal, son diferentes ($p < 0.05$).

¹ST = Sólidos totales; ²SNG = Sólidos no grasos.

³O - I = Otoño - Invierno; ⁴P - V = Primavera - Verano.

Estación del año

La estación del año influyó en todas las variables analizadas excepto para el porcentaje de proteína y lactosa, y para la cantidad de leche y proteína producidas en el día de muestreo (Cuadros 13, 14 y 15).

La interacción estación del año por número de parto fue significativa ($p < 0.05$) para el porcentaje de grasa, proteína, ST y SNG, además de NUL, acidez, crioscopia y ELCCS (Cuadros 10, 11 y 12). La interacción estación del año por

ordeño fue importante para sólidos totales y sólidos no grasos. La interacción estación del año por municipio influyó en el porcentaje de grasa, proteína, caseína y la proporción caseína: proteína, así como en NUL, acidez, densidad, crioscopia y la cantidad de caseína producida en el día de muestreo.

En este estudio se obtuvieron los mayores porcentajes de grasa, proteína, ST y SNG en las estaciones otoño-invierno y las menores en primavera-verano. Estos resultados concuerdan con los reportados por Barash *et al.* (1996), quienes mencionan que el mayor porcentaje de los constituyentes de la leche suelen presentarse en otoño y se reducen progresivamente en invierno, primavera y verano. Esto está asociado a que en verano los pastos contienen la menor concentración de proteína y fibra detergente neutro, por lo cual en esta estación del año, la leche presenta el menor porcentaje de sus constituyentes.

La concentración de NUL fue mayor en otoño-invierno que en primavera-verano (14.1 y 5.4 mg/dL, respectivamente). Estos resultados se contrastan con los reportados por Hojman *et al.* (2004) y Pedraza *et al.* (2006), quienes coinciden que las mayores concentraciones de NUL se obtienen en primavera y verano, mientras que las menores en otoño e invierno. Godden *et al.* (2001) encontraron que NUL es mayor en verano, en especial en los meses de agosto y septiembre, lo cual está asociado al valor nutritivo de las praderas en esta época.

En general, los valores más altos para grasa, sólidos totales, lactosa y caseína se obtuvieron en el ordeño de la tarde y en la estación del año otoño-invierno, y

los más bajos en el ordeño de la mañana y en la estación del año primavera-verano. El número de parto no influyó en la concentración de componentes, metabolitos, cuenta de células somáticas y propiedades fisicoquímicas de la leche (Cuadros 10, 11 y 12).

Municipio

El municipio influyó ($p < 0.05$) sobre todas las variables analizadas en este estudio. La interacción municipio por ordeño fue significativa ($p < 0.05$) para todas las variables de composición de la leche, así como para acidez, densidad y crioscopia. La interacción municipio por estación del año no influyó ($p < 0.05$) en el porcentaje de ST, SNG y lactosa, además de la CCS, ELCCS y la cantidad de caseína producida en el día de muestreo. La interacción municipio por número de parto influyó en acidez y todas las variables de cantidad de componentes de la leche.

Rancho anidado en municipio

Todas las variables analizadas estuvieron influenciadas ($p < 0.05$) por rancho anidado en municipio. En general, los valores más altos para grasa, proteína, ST, SNG y caseína se obtuvieron en las muestras de leche de los ranchos: Santa Laura, Sábana Grande, Los Antejos, Los Rosales y Pamplona, y los más bajos para las muestras de leche de los ranchos: Los Mirlos, La Rusia, Santa Ramona, El Ensueño y San Andrés.

Día de lactancia en el día de muestreo

El efecto lineal y cuadrático del día de lactancia en el día de muestreo fue significativo ($p < 0.05$) para todas las variables de composición y cantidad de componentes de la leche, así como para acidez, ELCCS, densidad y crioscopia (Cuadros 10, 11 y 12).

Conforme aumenta el día de lactancia aumentan los porcentajes de ST y grasa. Lo contrario ocurre con la cantidad de componentes de la leche producidos, a medida que avanza la lactancia la cantidad de componentes de la leche disminuye. Lo anterior concuerda con lo obtenido por Auldist *et al.* (1995), quienes mencionaron que conforme avanza la lactancia la composición de la leche y la cuenta de células somáticas disminuye. Chi y Cruz (2005), y Acosta (2006) concluyeron que el día de lactancia influyó en el porcentaje de grasa, proteína, SNG y ST; además de la acidez, densidad, crioscopia y la CCS.

La Figura 9 muestra el efecto del día de lactancia en los porcentajes de sólidos totales y grasa en leche de vacas de doble propósito. Ambos porcentajes presentan un comportamiento cuadrático, donde el valor más alto fue 12.79 y 3.99%, respectivamente.

El efecto del día de lactancia en la producción diaria de leche, sólidos totales, grasa, proteína y lactosa se presenta en la Figura 10. A excepción de la producción diaria de grasa, todas las variables presentaron un comportamiento cuadrático. El valor mínimo para producción total de leche, sólidos totales, proteína y lactosa fue de 8.66, 0.92, 0.26 y 0.31 kg/vaca/día, respectivamente;

presentándose estos valores en los días de lactancia 383, 383, 343 y 419, respectivamente.

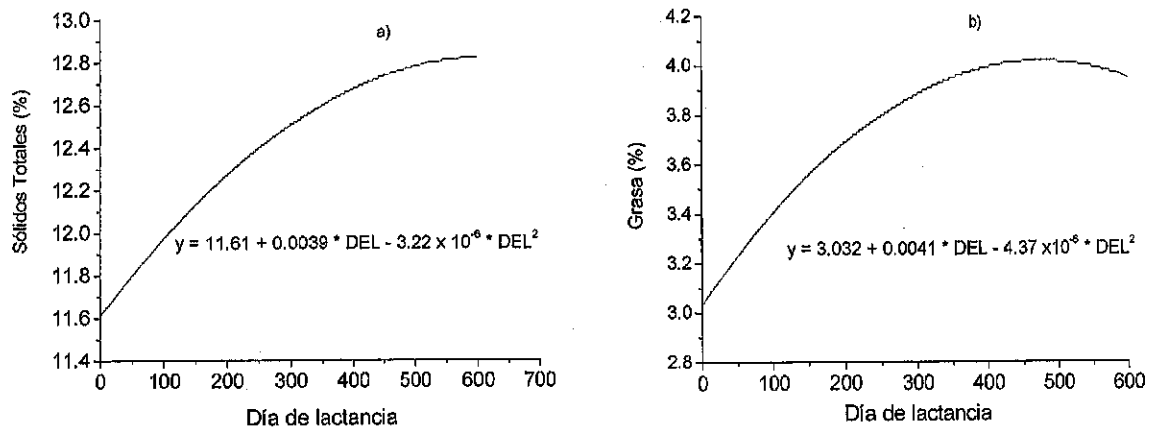


Figura 9. Efecto del día de lactancia en el día de muestreo sobre el porcentaje de sólidos totales (a) y grasa (b) de leche de vacas de doble propósito.

Producción de leche en el día de muestreo

La mayoría de las variables de composición de la leche, acidez, densidad y crioscopia fueron influenciadas ($p < 0.05$) por el efecto lineal y cuadrático de la producción de leche en el día de muestreo. El efecto de la producción de leche en el día de muestreo sobre los porcentajes de ST, grasa, proteína y caseína, crioscopia y el contenido de NUL se presentan en la Figura 11.

Todas las variables presentaron un comportamiento cuadrático, a medida que se incrementó la producción de leche, los porcentajes de los componentes de la leche disminuyeron. Los menores porcentajes de ST, grasa, proteína y lactosa fueron 11.39, 3.01, 2.99 y 2.37, respectivamente, a un nivel de producción de 14.69, 14.79, 13.62 y 15 kg/vaca/día, respectivamente. La mayor crioscopia fue

-0.462 °C a una producción de leche de 11.66 kg/vaca/día y el menor NUL de 7.28 mg dL⁻¹, a una producción de leche de 9.66 kg/vaca/día.

Porcentaje de genes europeos

El efecto de la covariable lineal porcentaje de genes europeos influyó ($p < 0.05$) en los porcentajes de ST y SNG y en la crioscopia (Figura 12). Conforme aumenta el porcentaje de genes europeos disminuyen linealmente los porcentajes de ST y SNG y la crioscopia. Estos resultados coincidieron con los reportados por Chi y Cruz (2005), quienes mencionan que

a medida que aumenta el porcentaje de genes europeos disminuyen linealmente el porcentaje de ST y crioscopia de la leche de muestras de vacas de doble propósito.

Índice de constancia

Debido a que en el presente estudio se utilizó un modelo mixto involucrando el efecto aleatorio de la vaca, se estimaron los componentes de varianza de la vaca y residual, con lo cual se estimó el índice de constancia o repetibilidad, para las variables de composición de la leche, producción diaria de leche y componentes y propiedades fisicoquímicas y metabolitos (Cuadro 16).

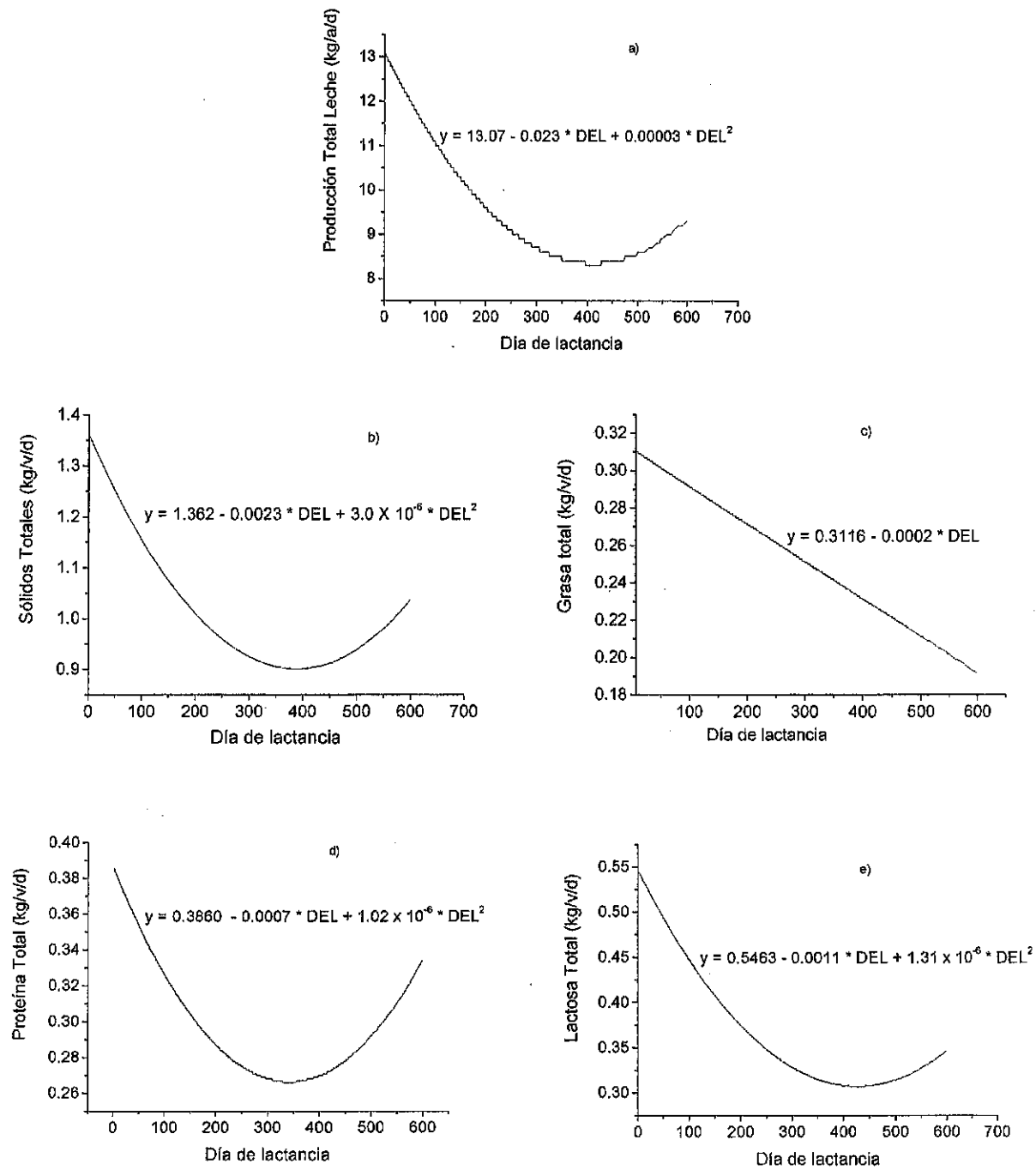


Figura 10. Efecto del día de lactancia sobre la producción diaria de leche (a), sólidos totales (b), grasa (c), proteína (d) y lactosa (e) de leche de vacas de doble propósito.

Cuadro 16. Estimadores de componentes de varianza y del índice de constancia (r_e) para las variables analizadas.

Variable	Componentes de varianza		$r_e + ee$
	Vaca	Residual	
Composición de la leche (%)			
Grasa	0.1580	0.9073	0.15 ± 0.0064
Proteína	0.0583	0.0623	0.48 ± 0.0125
Sólidos totales	0.3027	1.0691	0.22 ± 0.0086
Sólidos no grasos	0.1099	0.0889	0.55 ± 0.1245
Lactosa	0.0341	0.0247	0.58 ± 0.0122
Caseína	0.0353	0.0393	0.47 ± 0.0125
Cas:Prot. ¹	0.0003	0.0003	0.49 ± 0.1258
Producción diaria de leche y componentes (kg/vaca/día)			
Leche	0.0000	9.2035	0.00 ± 0.00
Grasa	0.0022	0.0135	0.14 ± 0.00
Proteína	0.0001	0.0098	0.01 ± 0.00
Sólidos totales	0.0000	0.1408	0.00 ± 0.00
Sólidos no grasos	0.0000	0.0751	0.00 ± 0.00
Lactosa	0.0000	0.0224	0.00 ± 0.00
Caseína	0.0000	0.2824	0.00 ± 0.00
Propiedades fisicoquímicas y metabolitos			
Acidez (°D)	2.2370	3.4760	0.39 ± 0.0119
Crioscopia (°C)	0.0003	0.0007	0.32 ± 0.0109
Densidad (g/mL)	0.0000	0.0000	0.35 ± 0.0112
Metabolitos en leche			
NUL (mg dL ⁻¹) ²	0.0022	0.0135	0.14 ± 0.0099
Cuenta de células somáticas			
CCS (células/mL) ³	1.69E+09	1.87E+10	0.08 ± 0.0036
ELCCS ⁴	0.0163	0.9600	0.02 ± 0.0009

¹Cas: Prot= Caseína (%)/Proteína (%); ²NUL= Nitrógeno ureico en leche; ³CCS= Cuenta de células somáticas (Células mL⁻¹ de leche); ⁴Escala CCS= Escala lineal de la cuenta de células somáticas.

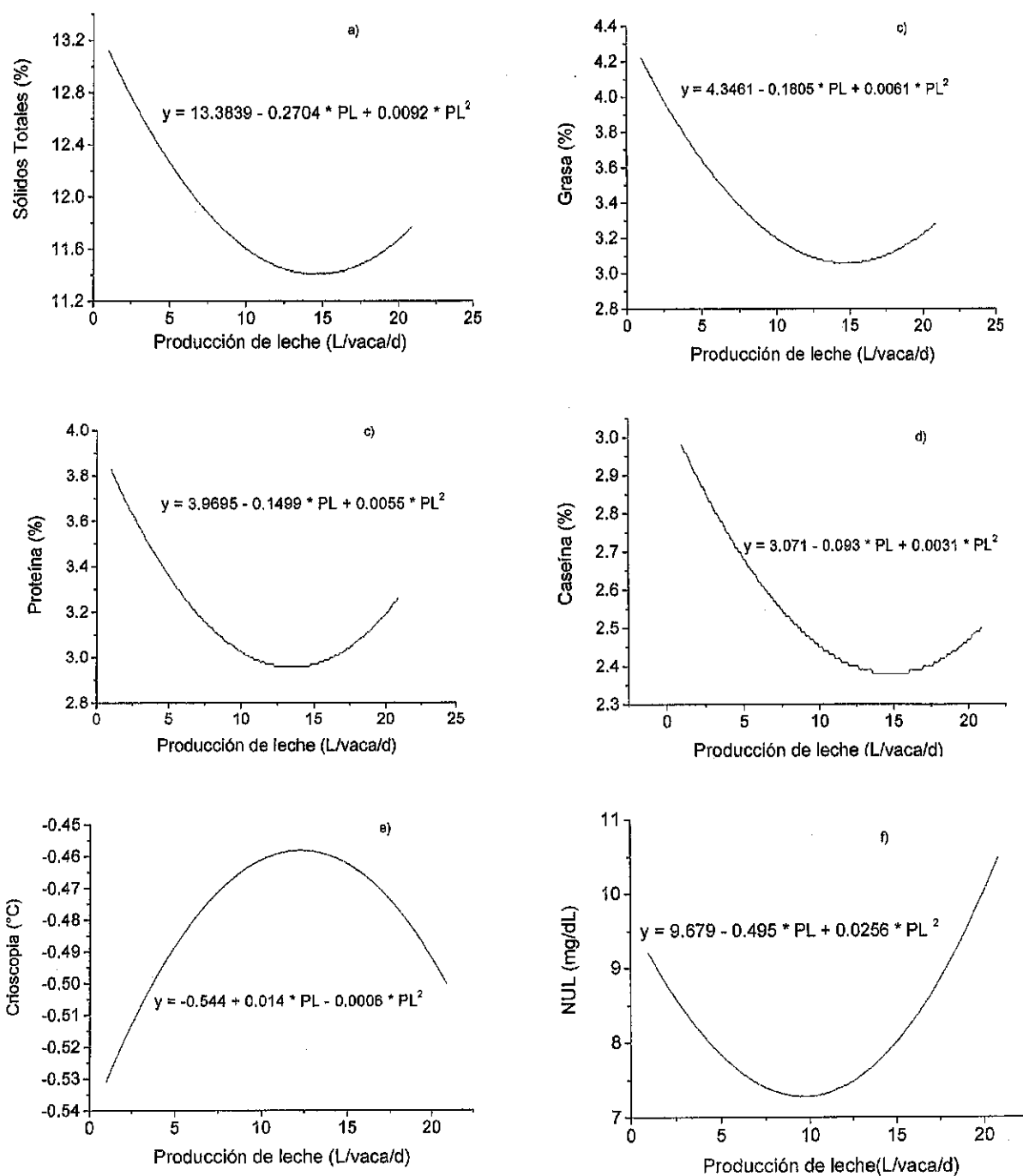


Figura 11. Efecto de la producción de leche en el día de muestreo sobre sólidos totales (a), grasa (b), proteína (c), caseína (d), crioscopia (e) y nitrógeno ureico en leche (f) de vacas de doble propósito.

En este estudio se encontraron los siguientes valores de repetibilidad para los porcentajes de grasa (0.15 ± 0.0064), proteína (0.48 ± 0.00125), ST (0.22 ± 0.00086), SNG (0.55 ± 0.1245), lactosa (0.58 ± 0.0122) y caseína (0.47 ± 0.0125). Los valores de repetibilidad obtenidos en las variables de composición de la leche y producción de leche total fueron inferiores a las reportadas por Ochoa (1991) y Castillo (2007).

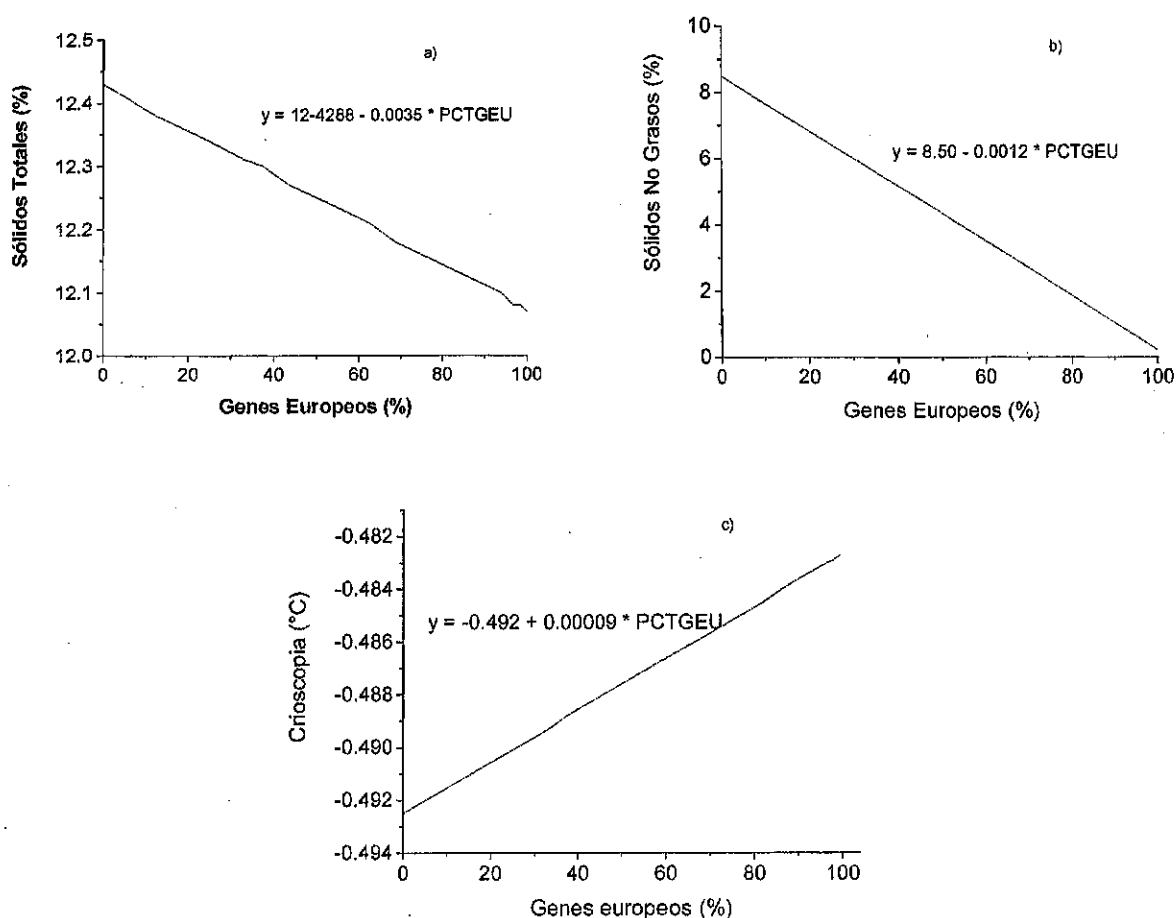


Figura 12. Efecto del porcentaje de genes europeos en el porcentaje de sólidos totales (a), sólidos no grasos (b) y crioscopia (c) en leche de vacas de doble propósito.

CONCLUSIONES

El número de parto, estación del año, municipio, rancho anidado en municipio, los días de lactancia, la producción de leche y el porcentaje de genes europeos afectaron la concentración de componentes, propiedades fisicoquímicas, metabolitos y la cuenta de células somáticas; así como a la producción diaria de componentes de la leche de ganado bovino de doble propósito en el norte de Veracruz, México.

La producción diaria de leche, sólidos totales, proteína y lactosa disminuyeron a medida que aumentó el día de lactancia. Los porcentajes de sólidos totales, grasa, proteína y caseína, así como crioscopia y nitrógeno ureico en leche presentaron un comportamiento cuadrático. Conforme aumenta la producción de leche los porcentajes de sólidos totales, grasa, proteína y caseína disminuyen, lo contrario sucede con nitrógeno ureico en leche. De manera similar, cuando aumenta la producción de leche la crioscopia disminuye. Mientras que al aumentar el porcentaje de genes europeos disminuyen los valores de sólidos totales, sólidos no grasos y la crioscopia.

Los estimadores de índice de constancia obtenidos en este estudio para las variables evaluadas pueden utilizarse para el cálculo de capacidades probables de producción de leche de las vacas, con fin de seleccionar las mejores de acuerdo con característica de interés.

LITERATURA CITADA

- Acosta L., O. 2006. Calidad de leche y cuenta de células somáticas de vacas lecheras en confinamiento o en pastoreo. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo. pp: 31-51.
- Auldist, J. M., B. Cotas, G. Rogers, and L. McDowell. 1995. Changes in the composition of milk from healthy and mastitic dairy cows during the lactation cycle. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35: 427-436.
- Barash, H., N. Silanikove, and J. I. Weller. 1996. Effect of season of birth on milk, fat, and protein production of Israeli Holstein. *Journal of Dairy Science* 79: 1016-1020.
- Becker, W. A. 1984. *Manual of Quantitative Genetics*. Fourth Edition. Washington State University. Published by Academic Enterprises. Pullman, Washington. 190 pp.
- Castillo M., T. 2007. Calidad de leche y cuenta de células somáticas de ganado Jersey y Holstein en México. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo. 165 pp.
- Chi H., L. V. y R. Cruz X. 2005. Calidad de leche cruda en hatos de bovinos de doble propósito en Campeche, México. Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo. 60 pp.
- COFOCALEC (Consejo para el Fomento de la Calidad de Leche). 2004. Norma Mexicana Oficial NMX-F-700-COFOCALEC-2004. Consultado el 15 de agosto de 2007.
- Donald, L., P. Bath, and F. Dickinson. 1986. *Ganado Lechero*. Edit. Interamericana, México, D.F. 366 pp.

- García C., R. 2005. Producción de leche de vacas con diferente porcentaje de genes *bos taurus* en el trópico mexicano. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo. 67 pp.
- Godden, S. M., K. D. Lissemore., D. F. Kelton., J. S. Walton., K. E. Leslie., J. S. Walton, and J. H. Lumsdens. 2001. Factors associated with milk urea concentrations in Ontario dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84: 107-1014.
- Henry, E. C., C. W. Barnes, and H. Macy. 1960. *Milk and Products*. Ed. McGraw-Hill. Nueva York. 155 pp.
- Hojman, D., O. Kroll., G. Adin, M. Gips, B. Hanochi, and E. Ezra. 2004. Relationships between milk urea and production, nutrition and fertility traits in Israeli dairy herds. *Journal of Dairy Science* 87: 1001-1011.
- Lacy-Hulbert, S. J., M. W. Woolford, G. D. Nicholas, C. G. Prosser, and K. Stelwagent. 1999. Effect of milking frequency and pasture intake on milk yield and composition of late lactation cows. *Journal of Dairy Science* 82: 1232-1239.
- Loor, J. J., and G. M. Jones. 1998. Aspectos Básicos sobre el Desarrollo de Mastitis. Guías del Ordeño. Virginia Cooperative Extensión. Publicación 404-233W.
- Ochoa P., G. 1991. Mejoramiento genético del ganado bovino productor de leche. *Ciencia Veterinaria*. 5: 67-88.
- Ortiz H., M. 2005. Calidad de la leche en explotaciones de ganado bovino de doble propósito en Tabasco. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo. 116 pp.
- Pedraza C., G., A. Mansilla M., F. Merucci D., P. Pinedo y H. Contreras C. 2006. Niveles de urea láctea en vacas de la región del Bío-Bío, Chile. *Agricultura Técnica* 66: 264-270.

- Philpot, N. W. 2001. Importancia de la cuenta de células somáticas y los factores que la afectan. *In: memorias del III Congreso Nacional de Control de Mastitis y Calidad de la Leche*. León, Guanajuato, México. 21- 23 de Junio. pp: 27-33.
- Santos A., M. 1995. Química y Bioquímica de los Alimentos. Universidad Autónoma Chapingo. 355 pp.
- SAS. 2001. S.A.S. User's guide: Statistics 8th ed. SAS institute Inc., Cary, N.C. USA.
- Sheen, S. R. y A. Riesco D. 2002. Factores que afectan la producción de leche en vacas de doble propósito en trópico húmedo (Pucallpa). *Veterinaria Perú* 13(1): 25-31.
- Veisseyre, R. 1988. Lactología Técnica. Ed. Acribia, España. 120 pp.
- Vite C., C., R. López O., J. G. García M., R. Ramírez V., A. Ruiz F. y R. López O. 2007. Producción de leche y comportamiento reproductivo de vacas doble propósito que consumen forrajes tropicales y concentrados. *Veterinaria México*. 38 (1): 63-79 pp.