



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**  
**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN**  
**Y SERVICIO EN ZOOTECNIA**

**POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LECHE DE VACAS EN**  
**PASTOREO O EN ESTABULACIÓN**

**TESIS**

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

Presenta:

**URSULA HERSHBERGER DEL ARENAL**

Bajo la dirección de: **JOSÉ GUADALUPE GARCÍA MUÑOZ, Ph.D.**



**Febrero 2012**

**Chapingo, Estado de México**



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

## **PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LECHE DE VACAS EN PASTOREO O EN ESTABULACIÓN**

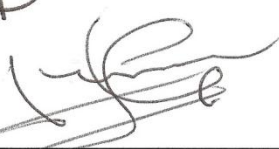
Tesis realizada por **URSULA HERSHBERGER DEL ARENAL** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

### **MAESTRA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

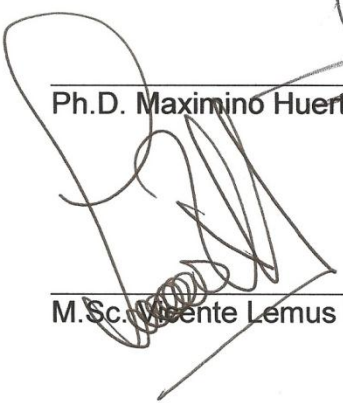
DIRECTOR:

  
\_\_\_\_\_  
Ph.D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
Ph.D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
M.Sc. Vicente Lemus Ramírez

## CONTENIDO

|                                                                               |      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| CONTENIDO .....                                                               | iii  |
| LISTA DE CUADROS .....                                                        | vi   |
| LISTA DE FIGURAS .....                                                        | viii |
| DEDICATORIAS .....                                                            | x    |
| AGRADECIMIENTOS .....                                                         | xi   |
| DATOS BIOGRÁFICOS.....                                                        | xii  |
| 1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....                                                 | 1    |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA .....                                               | 1    |
| 2.1 La leche .....                                                            | 1    |
| 2.2 Componentes de la leche .....                                             | 3    |
| 2.2.1 Agua.....                                                               | 5    |
| 2.2.2 Sólidos totales.....                                                    | 6    |
| 2.3 Factores que modifican la producción y composición de la leche.....       | 23   |
| 2.3.1 Factores nutricionales .....                                            | 24   |
| 2.3.2 Factores no nutricionales .....                                         | 29   |
| 2.4 Literatura citada .....                                                   | 34   |
| 3. PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LECHE DE VACAS EN PASTOREO O EN ESTABULACIÓN ..... | 40   |
| 3.1 Resumen .....                                                             | 40   |
| 3.2 Abstract.....                                                             | 41   |
| 3.3 Introducción .....                                                        | 42   |

|       |                                                                                                             |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4   | Material y métodos.....                                                                                     | 44 |
| 3.4.1 | Animales y ubicación.....                                                                                   | 44 |
| 3.4.2 | Toma de muestras de leche .....                                                                             | 45 |
| 3.4.3 | Análisis físico-químico de muestras de leche.....                                                           | 46 |
| 3.4.4 | Información adicional de los animales.....                                                                  | 46 |
| 3.4.5 | Normatividad nacional para calidad de leche de bovino .....                                                 | 47 |
| 3.4.6 | Estimación de ingresos por venta de leche con pago de calidad ..                                            | 48 |
| 3.4.7 | Análisis del forraje de las praderas y de la ración completa<br>mezclada.....                               | 48 |
| 3.4.8 | Análisis estadístico.....                                                                                   | 50 |
| 3.5   | Resultados y discusión .....                                                                                | 54 |
| 3.5.1 | Calidad de la leche en comparación con la NMX-F-700-<br>COFOCALEC-2004 y NOM-155-SCFI-2003 .....            | 54 |
| 3.5.2 | Producción de leche.....                                                                                    | 55 |
| 3.5.3 | Producción diaria de leche y de lactosa .....                                                               | 57 |
| 3.5.4 | Producción de grasa y leche corregida al 4% de grasa .....                                                  | 58 |
| 3.5.5 | Producción de proteína y caseína.....                                                                       | 59 |
| 3.5.6 | Producción de sólidos no grasos y de sólidos totales .....                                                  | 59 |
| 3.5.7 | Ingresos por vaca por día.....                                                                              | 60 |
| 3.5.8 | Producción acumulada de leche, componentes e ingreso estimado<br>por vaca para lactancias de 400 días ..... | 61 |
| 3.5.9 | Efecto del sistema de producción, etapa de lactancia, genotipo y<br>número de parto de la vaca.....         | 63 |

|     |                         |    |
|-----|-------------------------|----|
| 3.6 | Conclusiones .....      | 68 |
| 3.7 | Literatura citada ..... | 69 |

## LISTA DE CUADROS

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Compartimentos y constituyentes de la leche. ....                                                                                            | 3  |
| Cuadro 2. Composición nutricional de la leche entera.....                                                                                              | 4  |
| Cuadro 3. Clases principales de lípidos en la leche.....                                                                                               | 8  |
| Cuadro 4. Distribución de número y peso de los glóbulos. ....                                                                                          | 10 |
| Cuadro 5. Composición media <sup>1</sup> de clase de lípidos de la leche de vaca durante la lactancia. ....                                            | 10 |
| Cuadro 6. Composición total de ácidos grasos en leche de bovinos. ....                                                                                 | 12 |
| Cuadro 7. Fracciones proteicas en la leche de vaca. ....                                                                                               | 16 |
| Cuadro 8. Concentración de macrominerales en leche de vacas.....                                                                                       | 22 |
| Cuadro 9. Contenido de minerales traza en 100 g de leche entera. ....                                                                                  | 23 |
| Cuadro 10. Número y genotipo de las vacas empleadas el estudio <sup>1</sup> . ....                                                                     | 44 |
| Cuadro 11. Parámetros de calidad de leche establecidos en la Norma Mexicana para leche cruda, NMX-F-700-COFOCALEC-2004 <sup>2</sup> .....              | 47 |
| Cuadro 12. Especificaciones para leche entera pasteurizada NOM-155-SCFI-2003.....                                                                      | 47 |
| Cuadro 13. Parámetros de calidad para el sistema de pagos de la leche a productores de los Altos de Jalisco por la empresa LICONSA. ....               | 48 |
| Cuadro 14. Ecuaciones para estimación de carbohidratos no fibrosos, EM y ENL.....                                                                      | 49 |
| Cuadro 15. Promedio ( $\pm$ desviación estándar) de las semanas 1, 4 y 8 de muestreo, para la composición química, fraccionamiento de fibras y energía |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| neta de lactancia de la dieta que consumieron las vacas de los hatos en<br>estabulación o en pastoreo. ....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 50 |
| Cuadro 16. Estadísticos descriptivos para los porcentajes de grasa,<br>proteína, lactosa, caseína, relación caseína:proteína, sólidos no grasos y<br>sólidos totales calculados en muestras de leche de vacas individuales de<br>hatos en estabulación o en pastoreo. ....                                                                                                             | 55 |
| Cuadro 17. Totales estimados, a partir del ajuste de la ecuación de Wilmink<br>(1987) para lactancias de 400 días, de leche, leche corregida al 4% de<br>grasa, proteína, grasa, lactosa, caseína, sólidos no grasos, sólidos totales, e<br>ingresos por vaca por concepto de venta de leche de vacas en estabulación<br>o en pastoreo de praderas de alfalfa y pastos templados. .... | 62 |
| Cuadro 18. Medias de cuadrados mínimos ( $\pm$ error estándar) para los<br>efectos de hato, genotipo y número de parto de la vaca, para los<br>porcentajes de grasa, proteína, lactosa, caseína, sólidos no grasos y sólidos<br>totales en la leche de vacas en estabulación o en pastoreo. ....                                                                                       | 64 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Principales componentes de la leche.....                                                                                                                                                                                            | 4  |
| Figura 2. Célula secretora de leche. ....                                                                                                                                                                                                     | 9  |
| Figura 3. Triacilglicérido (a) y fosfolípidos (b). ....                                                                                                                                                                                       | 13 |
| Figura 4. Molécula de colesterol. ....                                                                                                                                                                                                        | 14 |
| Figura 5. Molécula de la lactosa. ....                                                                                                                                                                                                        | 18 |
| Figura 6. Diagrama de dispersión para la producción diaria de leche para los hatos en estabulación y en pastoreo en Chapingo (a y b), y el hato en pastoreo de Tequisquiapan (c). ....                                                        | 56 |
| Figura 7. Curvas de producción diaria de leche (a) y de lactosa (b) obtenidas con la ecuación de Wilmink (1987) para los hatos en estabulación y en pastoreo en Chapingo, y el hato en pastoreo de Tequisquiapan. ....                        | 57 |
| Figura 8. Curvas de producción diaria de grasa (a) y de leche corregida al 4% de grasa (b) obtenidas con la ecuación de Wilmink (1987) para los hatos en estabulación y en pastoreo en Chapingo, y el hato en pastoreo de Tequisquiapan. .... | 58 |
| Figura 9. Curvas de producción diaria de proteína (a) y de caseína (b) obtenidas con la ecuación de Wilmink (1987) para los hatos en estabulación y en pastoreo en Chapingo, y el hato en pastoreo de Tequisquiapan. ....                     | 59 |
| Figura 10. Curvas de producción diaria de sólidos no grasos (a) y de sólidos totales (b) obtenidas con la ecuación de Wilmink (1987) para los hatos en estabulación y pastoreo en Chapingo, y el hato de pastoreo de Tequisquiapan. ....      | 60 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 11. Curvas que predicen el ingreso diario por venta de leche obtenidas con la ecuación de Wilmink (1987) para los hatos en estabulación y pastoreo en Chapingo, y el hato en pastoreo de Tequisquiapan. ....                                                               | 61 |
| Figura 12. Curvas de regresión estimadas para el efecto lineal, cuadrático y cúbico de la covariable días en leche de la vaca en el día de muestreo para los porcentajes de grasa (a) y de proteína (b) en la leche de las vacas de los hatos estudiados.....                     | 65 |
| Figura 13. Curvas de regresión estimadas para el efecto lineal, cuadrático y cúbico de la covariable días en leche de la vaca en el día de muestreo para los porcentajes de lactosa (a) y de caseína (b) en la leche de las vacas de los hatos estudiados .....                   | 66 |
| Figura 14. Curvas de regresión estimadas para el efecto lineal, cuadrático y cúbico de la covariable días en leche de la vaca en el día de muestreo para los porcentajes de sólidos totales (a) y de sólidos no grasos (b) en la leche de las vacas de los hatos estudiados ..... | 66 |

## DEDICATORIAS

A mis padres *Gilberto y María Cristina* por ser los constructores de lo que ahora soy y he logrado; por su apoyo y amor en todo momento y por haberme regalado la vida *dos* veces.

A *Rebeca y Ana* por ser mis compañeras en este mundo y apoyarme para ser una mejor persona cada día; a *Juan Carlos* por ser como un hermano mayor, por su ejemplo y apoyo.

A *Juan Carlos, María y José Ángel* por que ahora son la nueva alegría de mi vida.

*Omar, Roberto, Carlos, Rebeca, Luis, Víctor Hugo, Rosalba, Diego, Hugo Eduardo* y a todos los amigos que han emprendido la aventura de compartir su tiempo y amistad conmigo.

A *Concha* y a *Nico* por estar allí siempre, apoyando y ayudándome en todo sin condiciones.

Para TODOS, mi reconocimiento y mi amor, por que contar con ustedes en las buenas y en las malas es lo mejor que me ha pasado en la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al CONACyT por beneficiarme con la beca para realizar mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal por creer en mí y darme la oportunidad de formar parte de la Institución.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por mi formación inicial y por abrirme las puertas para realizar parte de esta investigación dentro de sus instalaciones.

Al *Ph. D. José Guadalupe García Muñiz*, por el voto de confianza que me dio para realizar este trabajo, su apoyo, paciencia y enseñanzas.

Al *Ph. D. Maximino Huerta Bravo* por apoyarme en todo momento, guiarme, aconsejarme y abrirme las puertas de su casa.

Al *M Sc. Vicente Lemus Ramírez* por mostrarme el camino hacia Chapingo y contagiarme de esa pasión por las vacas y la leche.

A *todos los Doctores* del Posgrado en Producción Animal que con su ejemplo, cátedras y experiencias han ayudado a mi formación como Maestra y como persona.

Al *M en C Oscar Vicente Vazquez* por su amistad y apoyo, por todo lo que voluntaria e involuntariamente me ha enseñado.

A *Ángeles, Irma y Blanca* por su trabajo siempre apoyándonos.

A los compañeros del Posgrado, sobretudo a Aldo y René por su amistad.

## **DATOS BIOGRÁFICOS**



### **Datos personales**

|                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| Nombre              | Ursula Hershberger del Arenal  |
| Fecha de nacimiento | 20 de diciembre de 1983        |
| Lugar de nacimiento | México, Distrito Federal       |
| CURP                | HEAU831220MDFRRR03             |
| Profesión           | Médica Veterinaria Zootecnista |
| Cédula profesional  | 5703884                        |

### **Desarrollo académico**

|              |                                                                                                           |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bachillerato | Escuela Nacional Preparatoria No. 4 “Vidal Castañeda y Nájera” Universidad Nacional Autónoma de México.   |
| Licenciatura | Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México.                    |
| Maestría     | Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera. Posgrado en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo |

## **1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

Existe evidencia que desde el año 3100 A. C. el ganado bovino fue domesticado y la leche comenzó a tener mucha importancia en la dieta humana (Svennersten-Sjaunja y Olsson, 2005) por sus aportes nutricionales (Simopoulos, 2000).

La leche es un sistema físico-químico enormemente complejo (Thompson et al., 2009) con múltiples componentes en diversas fases en un delicado balance de fuerzas; que en esencia, es una solución de sales diluidas, un azúcar simple y vitaminas, en que la grasa se encuentra emulsionada en forma de glóbulos, y que contiene un complejo sistema de proteínas que en su mayoría están en forma de agregados coloidales o micelas de caseína (Kelly y Larsen, 2010).

La leche entera está constituida por alrededor del 88% de agua y contiene en promedio 12% de sólidos totales (Jenkins y McGuire, 2006). La composición de la leche esta influida por diversos factores que van desde la raza de los animales y la edad hasta las características de la dieta que consumen.

México es el décimo sexto productor y el décimo importador de leche y productos lácteos a nivel mundial (Research and Market, 2011). En 2009 se produjeron alrededor de 11,100 millones de toneladas de leche y el consumo fue de cerca de 15,500 millones de toneladas. En el mercado interno el 70% de la leche se comercializa como leche cruda; y cerca del 40% de ésta se consume como leche fluida y el resto es procesado por la industria de los lácteos (Research and Market, 2011).

Se conoce que cerca del 50 % de la producción de leche se obtiene de vacas lecheras especializadas, el 41% de ganado de doble propósito y el resto en lechería familiar o de subsistencia (Research and Market, 2011).

Existe normatividad que regula los requisitos mínimos de calidad que debe cumplir la leche para poder ser comercializada (Vargas, 2006). Así mismo, dentro de la industria lechera existe un premio económico por las

concentraciones de algunos componentes como la grasa y la proteína ya que reporta mejores rendimientos al momento de procesarla (Vargas, 2006).

La concentración de los diversos componentes de la leche (*i.e.* grasa, proteína, lactosa, etc.) determinará la calidad de la misma (Hurley, 2009) y le aportará las características organolépticas específicas (Wattiaux, 2011).

Los diversos sistemas de producción se basan en la forma de alimentar al ganado que va desde el pastoreo libre hasta la formulación de una dieta total mezclada ofrecida en confinamiento. Esta diversidad en la alimentación aunada a la diversidad racial de los hatos son los factores que determinan la composición físico-química de la leche. Es por ello que los objetivos de la presente investigación fueron: a) evaluar la calidad fisicoquímica de la leche de vacas en estabulación o en pastoreo en el centro de México y compararla con estándares nacionales; b) estimar funciones para predecir la producción diaria y por lactancia, de leche, leche corregida por grasa, grasa, proteína, lactosa, caseína, sólidos no grasos y sólidos totales; y c) estimar los ingresos diarios y por lactancia por vaca, por concepto de venta de leche, cuando la leche se paga por calidad fisicoquímica.

En el Capítulo 2 se presenta la revisión de literatura en la que se resume información general de las características de la leche y un análisis de los componentes principales de la leche de vaca, así mismo se enumeran los factores que modifican su composición. En el Capítulo 3 se muestran los resultados de la investigación en la que se evaluó la calidad de leche y sus componentes comparada con las normas vigentes; el efecto raza, sistema de alimentación y número de parto. Se analizaron las curvas de lactancia para los diversos componentes y se estimó la ganancia económica de la producción de leche bajo un sistema de pago en el que se premia por calidad.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 La leche

La leche es un fluido complejo que contiene diversos tipos de moléculas; sus principales constituyentes son agua, lípidos, azúcares y proteínas, en conjunto con otros elementos traza como minerales, vitaminas, hormonas y enzimas (Thompson *et al.*, 2009).

La leche se define como el producto normal de la secreción de la glándula mamaria, de composición compleja, de color blanquecino y opaco, con un pH cercano a la neutralidad, de sabor dulce y libre de calostro (Wattiaux, 2011).

De acuerdo al uso final que se le dé, hay varias definiciones de leche. Desde el punto de vista *dietético* la leche es un alimento completo ya que contiene aminoácidos esenciales (Walstra *et al.*, 2006), es fuente de calcio, fósforo, vitaminas liposolubles e hidrosolubles y proporciona un aporte importante de lípidos y lactosa, que en conjunto constituyen una importante fuente energética para quien la consume (Agudelo y Bedoya, 2005). La definición *química* de la leche es la de un fluido complejo formado por agua y sólidos totales que están constituidos por miles de moléculas diversas (Neville, 1995). *Físicamente* la leche es más bien una emulsión combinada con una fase coloidal en dispersión en la que la fase continua es una solución (Sherbon, 1999). *Biológicamente* la leche es el producto de la secreción de las glándulas de las hembras mamíferas, cuya función natural es crucial para la sobrevivencia y alimentación de los recién nacidos (Keenan y Patton, 1995). *Científicamente* la leche se define como la secreción de la glándula mamaria de los mamíferos que tiene un pH entre 6.5 y 6.7 (Fox, 2002); es una emulsión de grasas en agua, estabilizada

por una dispersión coloidal de proteínas en una solución de sales, vitaminas, péptidos, lactosa, oligosacáridos, caseína y otras proteínas (Sherbon, 1999). La leche también contiene enzimas, anticuerpos, hormonas, pigmentos (e.g. carotenos, xantofilas, riboflavina), células (e.g. epiteliales, leucocitos, bacterias y levaduras), CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y nitrógeno (Fox, 2002), por lo que se concluye que la leche constituye un sistema complejo (Neville, 1995). *Legalmente* se define como leche, al producto destinado para consumo humano, proveniente de la secreción natural de las glándulas mamarias de vacas sanas ((LICONSA, 2007; SAGARPA, 2009), excluyendo el producto obtenido 15 días antes y 5 días después del parto, sin haber sufrido ningún proceso industrial (NOM-024-ZOO-1995). No debe contener sustancias extrañas a su composición natural, tales como bactericidas, bacteriostáticos, preservativos químicos o biológicos, antibióticos o sustancias tóxicas (LICONSA, 2007).

La leche producida por otras especies se designará indicando el nombre de la especie correspondiente. Por ejemplo, leche de oveja, leche de cabra, etc. (Agudelo y Bedoya, 2005).

La leche se integra por tres sistemas o fases donde encontramos a los constituyentes principales, junto con otras muchas sustancias que se presentan en solución, suspensión o emulsión en agua (Cuadro 1).

La fase de solución está constituida por lactosa, proteínas séricas, minerales y vitaminas hidrosolubles. En la suspensión coloidal están presentes algunas de las proteínas de la leche, como la caseína, dentro de gran número de micropartículas o micelas, que no se sedimentan salvo que sufra alteraciones térmicas importantes (Thompson *et al.*, 2009). Las grasas y vitaminas liposolubles forman la fase de emulsión dentro de diversos glóbulos que impiden que se mezclen con el agua (Jensen *et al.*, 1991).

Cuadro 1. Compartimentos y constituyentes de la leche.

| Compartimientos                                             | Leche bovina (%)         | Constituyentes                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fase acuosa</b>                                          | <b>87</b>                |                                                                                                       |
| Cenizas (1 nm)                                              | 0.7                      | 1. Ca, Mg, PO <sub>4</sub> , Na, K, Cl, CO <sub>2</sub> , citrato y caseína.                          |
| Proteínas del suero (3 a 9 nm)                              | 0.6                      | 2. α-lactoalbúmina, lactoferrina, inmunoglobulinas (IgA), lisozimas y seroalbúmina (20% del N total). |
| Azúcares                                                    | 4.7                      | 3. Lactosa (4.6%) y oligosacáridos (0.1%).                                                            |
| NNP <sup>1</sup>                                            | 30 mg N dL <sup>-1</sup> | 4. Componentes de nitrógeno no proteico: glucosamina, urea, aminoácidos (5% del total de N)           |
| Vitaminas                                                   |                          | 5. Misceláneos: Complejo B, ácido ascórbico                                                           |
| <b>Dispersión coloidal</b>                                  | <b>2.6</b>               | 6. Caseína: α-, β-, κ-, Ca, PO <sub>4</sub>                                                           |
| 11 a 55 nm<br>10 <sup>16</sup> /dL                          |                          |                                                                                                       |
| <b>Emulsión</b>                                             | <b>3.9</b>               |                                                                                                       |
| Glóbulos de grasa<br>4 μm, 1.1x10 <sup>10</sup> /dL         |                          | 7. Glóbulos grasos: triacilgliceroles, vitaminas liposolubles, ésteres de colesterol                  |
| Membrana de glóbulos de grasa                               | 2% del total de la grasa | 8. Membranas de glóbulos de grasa-proteína, fosfolípidos, colesterol, enzimas y minerales traza.      |
| Células<br>8-40 μm<br>10 <sup>4</sup> a 10 <sup>5</sup> /dL |                          | 9. Macrófagos, leucocitos (neutrófilos, linfocitos) y células epiteliales.                            |

<sup>1</sup> NNP= nitrógeno no proteico.  
Fuente: Jensen *et al.* (1991).

## 2.2 Componentes de la leche

La leche entera (Figura 1) está constituida por alrededor del 88% de agua y contiene en promedio 12% de sólidos totales (Jenkins y McGuire, 2006). Se le han identificado más de 100 diferentes componentes que resultan relevantes para la nutrición humana, tal es el caso de las vitaminas (D, A, B<sub>12</sub>), los minerales (Ca, K y P), las proteínas (caseína) y otros factores benéficos para la salud (ácidos grasos omega 3 y 6) (Miller *et al.*, 2007).

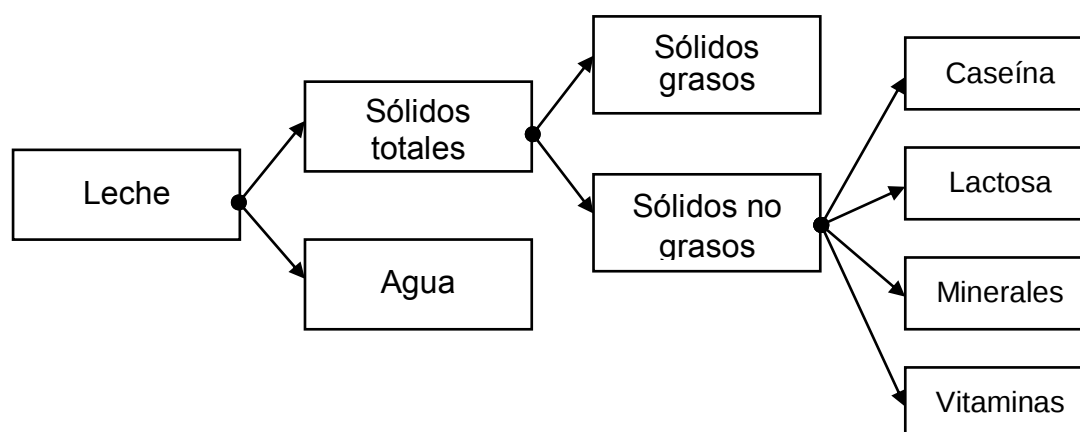


Figura 1. Principales componentes de la leche.  
Fuente: Adaptado de Miller *et al.*, 2007.

Existen varios factores que influyen la composición de la leche (Cuadro 2), tales como, la genética, la raza, la etapa de lactancia, el número de parto, la dieta (cantidades de granos o forrajes), el estado nutricional de la vaca y la época de parto (Jenkins y McGuire, 2006; Tyler y Ensminger, 2006; Thompson *et al.*, 2009; Wattiaux, 2011). Sin embargo, dicha condición se neutraliza al juntar diferentes leches en el tanque de recibo o pipas de transporte, y durante el proceso de homogenización (Jensen *et al.*, 1991; Fox, 2002).

Cuadro 2. Composición nutricional de la leche entera.

| Componente             | Entera |
|------------------------|--------|
| Agua, %                | 88.30  |
| Proteína, %            | 3.20   |
| Grasa, %               | 3.20   |
| Cenizas, %             | 0.70   |
| Carbohidratos, %       | 4.50   |
| Energía, kcal/100 g    | 60.00  |
| Colesterol, mg/100 g   | 10.00  |
| Ácidos grasos, % total |        |
| Saturados              | 64.90  |
| Monoinsaturados        | 28.30  |
| Poliinsaturados        | 6.80   |

Fuente: Jenkins y McGuire (2006).

Existen cambios en la composición de la leche durante el progreso de la lactancia. El calostro es la secreción de la glándula mamaria inmediatamente

después del parto; es un fluido que contiene altos niveles de proteína sérica e inmunoglobulinas (Huppertz y Kelly, 2009).

La leche de vacas enfermas de mastitis, los calostros o la leche de animales que hayan recibido un tratamiento farmacológico sin que transcurra el tiempo de retiro estipulado para cada producto, no deberán ser incluidos en el tanque de reciba del hato (Jensen *et al.*, 1991).

### **2.2.1 Agua**

La leche contiene entre 86 y 90% de agua, el resto está integrado por sólidos disueltos o sólidos totales (Wattiaux, 2011). Es el agua el disolvente de los compuestos solubles como son las vitaminas hidrosolubles, la lactosa y los minerales (Roos, 2002).

El agua no es un componente nutricional *per se*, pero determina muchas de las características fisicoquímicas de la leche y sus derivados, (e.g. viscosidad, propiedades termodinámicas, etc.); y es un factor clave en el crecimiento microbiano, palatabilidad, vida de anaquel de leche y derivados y punto de congelación de la leche (Roos, 2002).

La producción de leche es afectada directamente por la disponibilidad de agua de bebida (Wattiaux, 2011) y variará dependiendo de la raza de la vaca (Shearer *et al.*, 2003). La cantidad de agua en la leche es regulada por la lactosa dentro de las células secretoras de la glándula mamaria (Wattiaux, 2011).

El agua en la leche se puede encontrar en dos estados en relación con las proteínas: agua libre y agua ligada. El *agua libre* está en solución con sales minerales y lactosa pero independiente de sustancias insolubles. El *agua ligada* es la que encontramos retenida en las fases de emulsión y suspensión, no tiene capacidad de disolver porque está unida a proteínas ocupando cerca del 70% del espacio dentro de las micelas de las proteínas (Alais, 2003). Existe una proporción no fija, pero en equilibrio, entre el agua ligada y el agua libre, que

depende de condiciones de la leche tales como, temperatura, pH, concentración de sales, etc. (Alais, 2003).

El agua dentro de la ubre normalmente no es reabsorbida ya que los ductos secretores de leche son impermeables a la mayoría de los componentes, sólo se limitan a conducir y almacenar la leche dentro de la ubre (Tyler y Ensminger, 2006).

El agua que se le agrega a la leche (adulteración) es fácilmente detectable por diversos métodos analíticos. Estos métodos están basados en el punto de congelamiento o punto de crioscopía de la leche o cambios en la refracción de la luz en el suero de la leche (Alais, 2003).

### **2.2.2 Sólidos totales**

Los sólidos totales (ST) en la leche se refieren en especial al contenido de grasa, lactosa, proteínas y minerales, o sea, a todos los componentes de la leche con excepción del agua; se calcula como la diferencia que hay entre el porcentaje de agua con respecto al cien por ciento (Shearer *et al.*, 2003).

El valor económico y nutricional de la leche está directamente asociado a los ST; a mayor contenido de sólidos totales mayor rendimiento al procesar la leche para obtención de queso u otros derivados (Shearer *et al.*, 2003).

Gasque y Blanco (2001) muestran que existe una diferencia en la producción promedio de sólidos totales entre razas lecheras, indicando que la raza Jersey produce leche con 14.5% de ST, la raza Holstein con 11.93%, la raza Suiza con 13.41% y las vacas de razas Cebuínas leche con 13.5% de ST.

### **Sólidos grasos**

Desde un punto de vista práctico los lípidos tienen una importancia fundamental, ya que, confieren valor nutricional, textura y las propiedades organolépticas características de la leche y sus derivados (e.g. crema, quesos, mantequilla, etc.) (MacGibbon y Taylor, 2006).

Los lípidos en la leche se presentan en glóbulos microscópicos en una fase de emulsión. Tienen el propósito fundamental de ser una fuente de energía para la cría recién nacida (MacGibbon y Taylor, 2006).

Los productos de origen animal son una fuente importante de energía, especialmente los ácidos grasos, las vitaminas liposolubles y otros promotores de buena salud. La grasa láctea representa el 48% de la energía de la leche entera, de la cual, el 62% corresponde a grasa saturada; el 30% a monoinsaturada; 4% polinsaturada y; 4% a otros tipos de ácidos grasos (Miller *et al.*, 2007).

El contenido de grasa y la composición de los ácidos grasos son muy variables por diversos factores (e.g. raza, dieta, etapa de lactancia, etc.) (Jenkins y McGuire, 2006; Tyler y Ensminger, 2006; Thompson *et al.*, 2009; Wattiaux, 2011). El contenido de grasa en la leche bovina muestra diferencias importantes entre las diversas razas y entre los animales individuales (Huppertz y Kelly, 2009); esto mismo ocurre en otras especies como búfalos y ovejas (Thompson *et al.*, 2009).

La grasa de la leche ha sido investigada ampliamente, sobre todo por la disponibilidad de la mantequilla en tres rubros principalmente: el primero es el aspecto económico, ya que se llega a pagar un sobreprecio por las concentraciones elevadas de grasa; el segundo, es por el valor nutricional de la grasa láctea y su aporte a la dieta humana y en tercer plano, por todos los roles no nutricionales que se le atañen a la grasa de la leche (Jensen *et al.*, 1991).

Durante los últimos 25 años se ha buscado cambiar el patrón de ácidos grasos en la leche para concentrar más aquellos que tienen beneficios en la salud como lo son los ácidos grasos insaturados (Jenkins y McGuire, 2006). Esto ha resultado en la obtención de grasas más suaves (altos contenidos en ácido oleico) que dan lugar a mantequillas untables incluso en refrigeración (Wood *et al.*, 1975).

Según MacGibbon y Taylor (2006) el contenido de grasa en leche puede variar de 3 a 6% pero el rango típico es de 3.5 a 4.7%; se encuentran en forma de glóbulos de grasa con un diámetro aproximado de 2 a 4  $\mu\text{m}$ , cubiertos por una capa derivada de la membrana de la célula secretora (Jensen *et al.*, 1991).

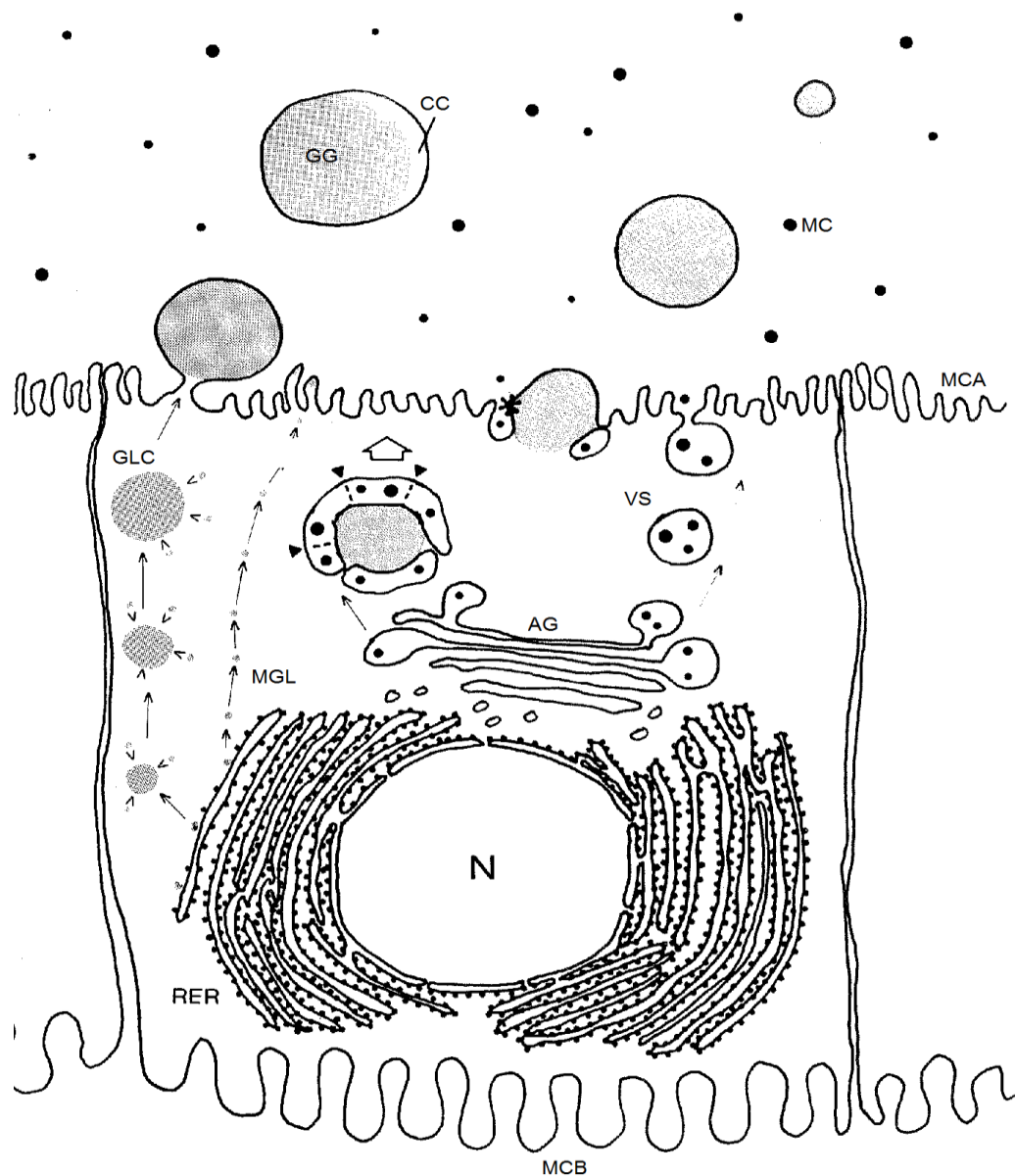
Jensen *et al.* (1991) encontraron que cerca del 98% de los lípidos en la leche corresponde a triacilglicerol (Cuadro 3); los fosfolípidos ocupan entre el 0.5 y el 1% mientras que los esteroides van del 0.2 al 0.5% del total de lípidos. El colesterol representa la mayor proporción de esteroides con aproximadamente 10 a 20 mg/dL.

Cuadro 3. Clases principales de lípidos en la leche.

| Lípidos                | Cantidad (% p/p) |
|------------------------|------------------|
| Triacilglicerol        | 98.30            |
| Diacilglicerol         | 0.30             |
| Monoacilglicerol       | 0.03             |
| Ácidos grasos libres   | 0.10             |
| Fosfolípidos           | 0.80             |
| Esteroides             | 0.30             |
| Carotenoides           | Trazas           |
| Vitaminas liposolubles | Trazas           |
| Componentes de sabor   | Trazas           |

Fuente: MacGibbon y Taylor (2006).

Los glóbulos de grasa se forman con diferentes diámetros dentro de las células epiteliales mamarias y se van moviendo hasta alcanzar la zona apical (Figura 2), donde se desprenden hacia el lumen alveolar llevando consigo parte de la membrana celular (Cuadro 4) (Jensen *et al.*, 1991).



retículo endoplásmico rugoso (RER); núcleo (N); membrana citoplasmática basal (MCB); microglóbulos de lípidos (MGL); aparato del golgi (AG); vesículas secretoras (VS); glóbulos de lípidos citoplasmáticos (GLC); glóbulos de grasa (GG); crestas citoplasmáticas (CC) y micelas de caseína (MC).

Figura 2. Célula secretora de leche. Fuente: Mather y Keenan (1998).

El glóbulo de grasa está cubierto por una membrana compuesta por fosfolípidos, lipoproteínas, glicoproteínas y enzimas, principalmente; mientras que en su interior hay triglicéridos. La membrana lipídica protege a los triglicéridos de la lipólisis y la oxidación (Wiking *et al.*, 2004).

Cuadro 4. Distribución de número y peso de los glóbulos.

| Glóbulos diámetro | Número | Peso %  |
|-------------------|--------|---------|
| 1 µm              | <10%   | 80      |
| 4 µm              | 90%    | 10 a 30 |
| 8 a 12 µm         | 1%     | 2 a 3   |

Fuente: Jensen *et al.* (1991).

El tamaño del glóbulo de grasa es importante para la manufactura de quesos (e.g. parmesano) ya que tiene influencia en la firmeza y contenido de humedad de los mismos (Wiking *et al.*, 2004).

Jensen *et al.* (1991) indicaron que la leche bovina tiene cantidades sustanciales de ácidos grasos de cadena corta (C<sub>4:0</sub> a C<sub>10:0</sub>) y apenas el dos por ciento será C<sub>18:2</sub> o *trans*C<sub>18:1</sub> o ácidos grasos de cadena larga. Bitman y Wood (1990) realizaron un estudio separando los diversos tipos de lípidos presentes en la leche por medio de cromatografía de capa fina y densitometría; hallaron que la mayor parte de los lípidos corresponde a triacilglicéridos, con menores cantidades de esteroides y fosfolípidos asociados a la membrana y que estas proporciones varían según la etapa de lactancia (Cuadro 5.).

Cuadro 5. Composición media<sup>1</sup> de clase de lípidos de la leche de vaca durante la lactancia.

| Lípidos               | Porcentaje a días de lactancia |                    |                    |                    | EE <sup>2</sup> |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
|                       | 3                              | 7                  | 42                 | 180                |                 |
| Fosfolípidos          | 00.72 <sup>b</sup>             | 01.06 <sup>a</sup> | 01.11 <sup>a</sup> | 00.56 <sup>b</sup> | 00.09           |
| Colesterol            | 00.53 <sup>a</sup>             | 00.41 <sup>b</sup> | 00.46 <sup>b</sup> | 00.30 <sup>c</sup> | 00.03           |
| Triacilglicéridos     | 97.35 <sup>a</sup>             | 97.11 <sup>a</sup> | 95.80 <sup>b</sup> | 97.17 <sup>a</sup> | 00.15           |
| 1,2 diglicéridos      | 01.01 <sup>c</sup>             | 01.16 <sup>c</sup> | 02.25 <sup>a</sup> | 01.72 <sup>b</sup> | 00.12           |
| Ácidos grasos libres  | 00.26                          | 00.19              | 00.28              | 00.18              | 00.04           |
| Monoglicéridos        | 00.06                          | 00.06              | 00.08              | 00.03              | 00.01           |
| Esteres de colesterol | 00.05                          | 00.03              | 00.02              | 00.04              | 00.01           |
| Grasa, g/dL           | 03.45                          | 03.97              | 03.25              | 03.13              | 00.24           |
| Número de vacas       | 12                             | 12                 | 12                 | 12                 |                 |

<sup>1</sup> medias sin letra en común, son diferentes.

<sup>2</sup> EE = error estándar.

Fuente: Bitman y Wood (1990).

Las características propias de las micelas de proteína y los glóbulos de grasa son las responsables de las cualidades organolépticas particulares de la leche y los derivados (Wattiaux, 2011). Jensen *et al.* (1991) señalan que en la leche fresca sólo se encuentran trazas de ácidos grasos libres, (diglicéridos y monoglicéridos); con elevadas concentraciones de éstos y bajas de triacilglicéridos se podrán percibir cambios organolépticos en la leche.

### *Ácidos grasos*

Algunas grasas en la dieta de los seres humanos son fundamentales para mantener un crecimiento y desarrollo adecuado, ya que proveen vitaminas liposolubles y ácidos grasos esenciales que constituyen un aporte energético considerable ya que casi duplican los aportes de carbohidratos y proteínas (4 vs 9 kcal/g) (Simopoulos, 2000).

Los ácidos grasos esenciales, son aquellos que el cuerpo no sintetiza a partir de la digestión y se deben consumir en la dieta para garantizar el buen funcionamiento del cuerpo (Simopoulos, 2000). Algunos ácidos grasos tienen funciones metabólicas específicas como los del grupo  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 que se caracterizan por su esencialidad y sus aportes benéficos para la salud humana (McGuire y McGuire, 2000). El ácido linoleico ( $\omega$ -6) está presente en leche en una forma que favorece su conversión a ácido araquidónico. El ácido  $\omega$ -3 (linolénico), y productos como ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA), se encuentran en pequeñas cantidades en la grasa de la leche, aunque no son despreciables si se considera su actividad como nutraceuticos (Cuadro 6).

Los lípidos contienen diez ácidos grasos principalmente, por lo tanto teóricamente es posible tener  $1 \times 10^3$  TG si todos los ácidos grasos se combinaran al azar pero, en realidad la leche de bovinos puede llegar a tener hasta 400 ácidos grasos, lo que hace una cantidad teórica máxima de 64 millones de TG diferentes (Jensen *et al.*, 1991).

Cuadro 6. Composición total de ácidos grasos en leche de bovinos.

| Ácidos grasos       | Nombre común | Nombre sistemático      | % de peso |
|---------------------|--------------|-------------------------|-----------|
| C <sub>4:0</sub>    | Butírico     | Ácido tetranoico        | 1.61      |
| C <sub>6:0</sub>    | Caproico     | Ácido hexanoico         | 1.90      |
| C <sub>8:0</sub>    | Caprílico    | Ácido octanoico         | 1.30      |
| C <sub>10:0</sub>   | Cáprico      | Ácido decanoico         | 3.25      |
| C <sub>10:1</sub>   | Caproleico   |                         | 0.32      |
| C <sub>12:0</sub>   | Laúrico      | Ácido dodecanoico       | 3.66      |
| C <sub>12:1</sub>   | Lauroleico   |                         | 0.12      |
| C <sub>13:0</sub>   |              | Ácido tridecanoico      | 0.21      |
| C <sub>14:obr</sub> |              | Ácido tetradecanoico    | 1.48      |
| C <sub>14:0</sub>   | Mirístico    |                         | 11.28     |
| C <sub>14:1</sub>   | Maleico      |                         | 1.34      |
| C <sub>15:0</sub>   |              | Ácido pentadecanoico    | 1.38      |
| C <sub>16:Obr</sub> |              | Ácido hexadecanoico     | 0.35      |
| C <sub>16:0</sub>   | Palmítico    |                         | 32.31     |
| C <sub>16:1</sub>   | Palmitoleico |                         | 3.55      |
| C <sub>17:0</sub>   | Margárico    | Ácido heptadecanoico    | 1.11      |
| C <sub>18:Obr</sub> |              | Ácido octadecanoico     | 0.50      |
| C <sub>18:0</sub>   | Esteárico    |                         | 7.82      |
| C <sub>18:1</sub>   | Vaccénico    |                         | 22.44     |
| C <sub>18:2</sub>   | Linoleico    | Ácido octadecadienoico  | 2.59      |
| C <sub>18:3</sub>   | Linolénico   | Ácido octadecatrienoico | 0.91      |
| C <sub>20:obr</sub> | Araquídico   |                         | 0.15      |
| C <sub>21:0</sub>   |              | Ácido henicosanoico     | 0.04      |
| C <sub>20:3</sub>   | Araquídónico | Ácido eicosatetraenoico | 0.14      |
| C <sub>20:4</sub>   | Adrénico     | Ácido docosatetranoico  | 0.25      |

Fuentes: Jensen *et al.* (1991); Monge-Rojas y Campos (2006).

Los ácidos grasos han sido ampliamente analizados por medio de técnicas como la cromatografía de gases. Hacer estos análisis no siempre es fácil ya que hay algunos ácidos de cadena corta que son volátiles y se pueden perder en el proceso de análisis.

### *Triacilglicéridos*

Estos ácidos grasos constituyen el grupo más abundante de lípidos en los productos de origen animal. Se forman de la unión de tres cadenas de ácidos grasos por su grupo hidroxilo al glicerol (Figura 3 (a)) y se les conoce con el

término arcaico de grasas neutras ya que no presentan polaridad (Nelson y Cox, 2005).

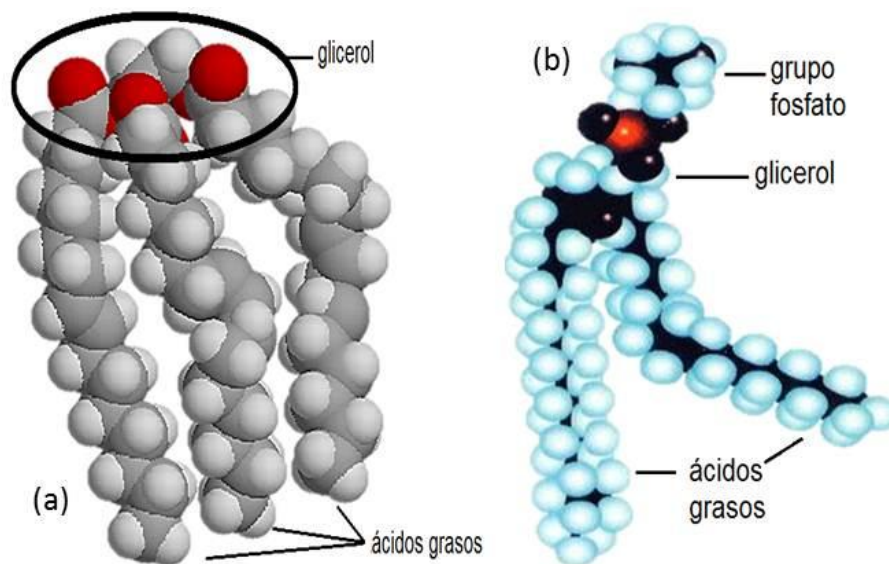


Figura 3. Triacilglicérido (a) y fosfolípidos (b). Fuente: Nelson y Cox (2005).

Hay muchos tipos de triacilglicéridos según la posición e identidad de los ácidos grasos al esterificar la glicerina; los hay simples, que son aquellos con la misma clase de ácido graso en las tres posiciones unidas al glicerol (e.g. AAA, BBB); y los hay complejos que son los que tienen dos ácidos grasos diferentes unidos al glicerol (e.g. ABB, AAB, etc.) y puede haber hasta seis isómeros diferentes (Nelson y Cox, 2005).

### *Fosfolípidos*

Al igual que los triacilglicéridos, los fosfolípidos están constituidos por cadenas de ácidos grasos (dos cadenas) y un glicerol; el tercer carbono del glicerol está ocupado por un grupo fosfato que le confiere características biológicas especiales como la polaridad y la capacidad de formar membranas (Figura 3 (b)) (Curtis y Barnes, 2001; Nelson y Cox, 2005).

Los fosfolípidos presentes en la leche no contienen ácidos grasos de cadena corta; como en el caso de los triacilglicéridos (deMan, 1999); la mayoría son

ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga ya que se originan en la membrana de las células epiteliales mamarias (Jensen *et al.*, 1991).

### *Colesterol*

El colesterol pertenece al grupo de los esteroides que son compuestos que contienen una base de cuatro anillos de carbono condensados (17 carbonos) (Figura 4). Se encuentra en todos los tejidos de origen animal y es un componente básico para los ácidos biliares (Mayes y Botham, 2003), corticoesteroides, hormonas y vitamina D (deMan, 1999).

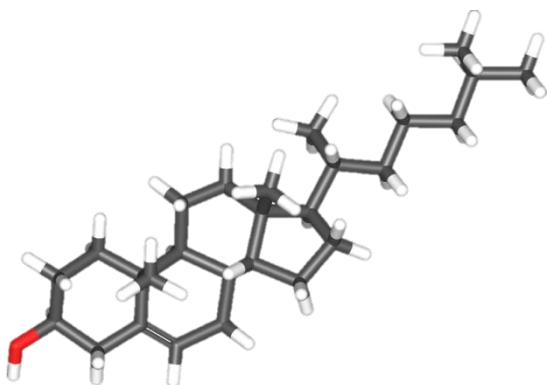


Figura 4. Molécula de colesterol. Fuente: Nelson y Cox (2005).

El colesterol representa cerca del 95% del total de los ésteres en la leche; por su asociación con el glóbulo de grasa su concentración está altamente correlacionada con el porcentaje de grasa (Palmquist, 2006). Aproximadamente el 10% del colesterol está en forma de ésteres y el resto se encuentra libre (deMan, 1999; Palmquist, 2006).

En los sistemas de producción de leche a gran escala, es común el empleo de grandes cantidades de grano como fuente de energía para mantener altas producciones. Una ración demasiado rica en concentrados no estimula la rumia en la vaca y puede resultar en una caída en el porcentaje de grasa (2.0 a 2.5%) (Wattiaux, 2011). El consumo de grano reduce la proporción de ácidos grasos de cadena mediana (6 a 16 carbonos) y aumenta la proporción de ácidos grasos insaturados de 18 carbonos (Jenkins y McGuire, 2006). Esta condición

en la que se reduce la cantidad de grasa en la leche se le conoce como depresión de grasa en leche inducida por grano.

La razón exacta de por qué el contenido de grasa se reduce se desconoce pero se tienen dos teorías: 1) una inadecuada producción de acetato y butirato en el rumen; 2) el propionato en el grano eleva las concentraciones de insulina, redireccionando los metabolitos del tejido mamario (Jenkins y McGuire, 2006).

### ***Sólidos no grasos***

Los sólidos no grasos en la leche se refieren a los elementos como proteínas, lactosa, vitaminas y minerales, con excepción del contenido de agua y de lípidos.

#### ***Proteínas***

La leche aparte de ser un alimento, también apoya funciones fisiológicas; éstas son llevadas a cabo principalmente por las proteínas y péptidos, incluyendo inmunoglobulinas, enzimas, enzimas inhibidoras, factores de crecimiento, hormonas y agentes antibacteriales (Thompson *et al.*, 2009).

La leche de vaca es reconocida por ser una fuente excelente de proteína de alta calidad, elevado valor biológico y de fácil digestión (Pinto *et al.*, 1998; Walstra *et al.*, 2006). Alrededor del 3.5% del peso de la leche es proteína y representa el 38% del total de sólidos no grasos (Miller *et al.*, 2007).

El contenido proteico de la leche es heterogéneo ya que resulta de una mezcla de varias proteínas, enzimas y trazas de nitrógeno no proteico (Miller *et al.*, 2007). El porcentaje de proteína varía según la raza de la vaca (Tyler y Ensminger, 2006) y está en relación directa con la cantidad de grasa en la leche (Wattiaux, 2011): cuanto mayor es la cantidad de grasa, mayor es la cantidad de proteína.

La caseína es la proteína principal dentro de la leche (80%) (Miller *et al.*, 2007); precipita a un pH de 4.6, propiedad que es utilizada para la fabricación de diversos quesos y derivados (Walstra *et al.*, 2006).

La caseína es una proteína “completa” ya que contiene aminoácidos esenciales que los humanos no son capaces de sintetizar (Fukagawa y Yu, 2009). Puede ser fraccionada electroforéticamente (Cuadro 7) en cuatro fracciones principales, alfa caseína ( $\alpha_{s1}$ - y  $\alpha_{s2}$ -), beta caseína ( $\beta$ -), gamma caseína ( $\gamma$ -) y kappa caseína ( $\kappa$ -) con actividad biológica específica (Miller *et al.*, 2007).

Cuadro 7. Fracciones proteicas en la leche de vaca.

| Fracciones                    | Concentración en leche (g/L) |
|-------------------------------|------------------------------|
| Proteína total                | 36.00                        |
| Caseína                       | 29.50                        |
| $\alpha_{s1}$ -caseína        | 11.90                        |
| $\alpha_{s2}$ -caseína        | 3.10                         |
| $\beta$ -caseína              | 9.80                         |
| $\kappa$ -caseína             | 3.50                         |
| $\gamma$ -caseína             | 1.20                         |
| Proteínas del suero           | 6.30                         |
| $\beta$ -Lactoglobulina       | 3.20                         |
| $\alpha$ -Lactalbúmina sérica | 1.20                         |
| Seroalbúmina                  | 0.40                         |
| Inmunoglobulinas              | 0.80                         |
| Proteosa peptona              | 1.00                         |

Fuente: Swaisgood, (1995).

La  $\alpha_{s1}$ -,  $\alpha_{s2}$ -,  $\beta$ -, y  $\kappa$ -caseína, se producen en diferentes porcentajes. La  $\kappa$ -caseína se encuentra glicosilada con varias moléculas. Parte de la  $\beta$ -caseína se divide por las enzimas proteolíticas en  $\gamma$ -caseína y proteosa peptona. La  $\alpha_{s1}$ -,  $\alpha_{s2}$ -, y  $\beta$ - caseínas son fosfoproteínas que tienen varios grupos fosfato esterificados con restos de serina; esto facilita que se precipite en presencia de  $\text{Ca}^{2+}$ , pero la  $\kappa$ -caseína la protege para que esto no ocurra en situaciones normales, pero, al exponerlas a la enzima quimosina (cuajo) esta protección termina y la proteína se precipita (Walstra *et al.*, 2006). La diferencia entre las

fracciones de la caseína es la fosforilación y glicosilación, así como la capacidad de proteólisis.

El suero contiene proteínas disueltas como la  $\beta$ -lactoglobulina (16%) y  $\alpha$ -lactoalbúmina (4%); esta última contiene altos niveles de triptófano precursor de la niacina. Otras proteínas presentes en el suero, en bajas concentraciones, son la seroalbúmina, algunas inmunoglobulinas (e.g. IgA, IgG, IgM), la lactoferrina y la transferrina (Miller *et al.*, 2007). Las proteínas presentes en el suero son globulares por lo que son termolábiles (Walstra *et al.*, 2006).

La  $\beta$ -lactoglobulina es la proteína del suero más concentrada, sus propiedades químicas tienden a dominar las propiedades de las proteínas séricas, sobre todo en las reacciones que ocurren en el tratamiento térmico. Su solubilidad depende del pH y no se precipita en acidificación (Walstra *et al.*, 2006).

La  $\alpha$ -lactoalbúmina tiene funciones de coenzima en la síntesis de lactosa. Es una proteína pequeña, esférica y compacta no asociada al ión de calcio (Walstra *et al.*, 2006). Tiene un elevado contenido de triptófano que actúa como precursor de la niacina (Miller *et al.*, 2007).

Las globulinas son glicoproteínas (alfa-globulinas, beta-globulinas y gammaglobulinas (Walstra *et al.*, 2006)) que pasan a la leche directamente del suero sanguíneo por lo que son variadas para cada vaca (Tyler y Ensminger, 2006). Existen diversas clases de inmunoglobulinas (IgA, IgM, IgD, IgE, IgG) que son anticuerpos específicos para cada antígeno, y se encuentran más concentradas sobre todo en los calostros (Walstra *et al.*, 2006).

La lactoferrina es un inhibidor bacteriano que también limita la disponibilidad de hierro ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en la leche, por lo que no resulta ser una fuente suficiente de este mineral para los niños lactantes y se complementa en las fórmulas infantiles (Walstra *et al.*, 2006).

Otras proteínas misceláneas están presentes en la leche en muy bajas concentraciones, sobre todo las provenientes de la membrana del glóbulo de grasa (glicoproteínas) (Walstra *et al.*, 2006), las enzimas y las hormonas.

#### *Carbohidratos: lactosa*

La lactosa es el carbohidrato con mayor presencia en la leche y representa la fuente de energía (glucosa) más importante para el neonato sin resultar tan dulce como otros azúcares (e.g. sucrosa o fructosa) (Hurley, 2009). Representa alrededor del 54% de los sólidos no grasos en la leche y representa cerca del 30% de la energía aportada en la leche entera (Miller *et al.*, 2007).

El nombre del disacárido *lactosa* proviene del vocablo latino "*lacto*" que significa leche; más el sufijo "*osa*" que representa el nombre químico de los azúcares. Su fórmula es igual que la sacarosa pero con diferencias en las estructuras cíclicas ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) (Revilla, 1982) y su peso molecular es 342.3 g/mol (Alais, 2003).

La lactosa es un disacárido exclusivo de la leche (Calvo, 2003); es originada por la unión de una molécula de D-galactosa y D-glucosa unidas por un enlace  $\beta$  1-4 glicosídico (Curtis y Barnes, 2001) estas moléculas provienen de la  $\alpha$ -lactoalbúmina (Calvo, 2003) (Figura 5). En el intestino del neonato la lactosa se divide en sus dos moléculas constituyentes por medio de la acción de la enzima *lactasa* o  $\beta$ -galactosidasa (Hurley, 2009).

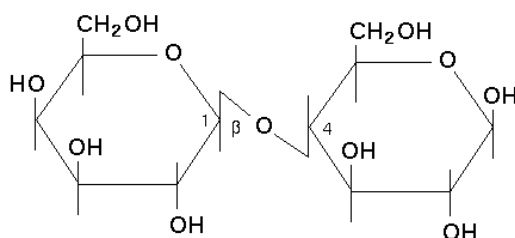


Figura 5. Molécula de la lactosa. Fuente: Nelson y Cox (2005).

El disacárido puede adoptar dos configuraciones, dependiendo de la forma en la que cierre el anillo de glucosa, 1) " $\alpha$ " lactosa y 2) " $\beta$ " lactosa; la presencia de ambos tipos se encuentra en equilibrio (Calvo, 2003).

La lactosa es sintetizada en el epitelio de las células mamarias a partir de dos moléculas de glucosa que se absorben de la sangre. Una de las moléculas es fosforilada y convertida en galactosa para luego condensarse por medio de la enzima *lactosa-sintetasa* formando así el disacárido *lactosa* (Thompson *et al.*, 2009).

La lactosa tiene un rol básico en la síntesis de la leche ya que por sus características osmóticas aporta humedad. Gracias a la relación estrecha entre humedad y lactosa este elemento se convierte en el componente menos variable de la leche (Hurley, 2009).

La síntesis de lactosa extrae agua osmóticamente de las vesículas del aparato de Golgi de las células mamarias por lo que aumenta el volumen de leche y disminuye la concentración de caseína que hay dentro. Jenness y Holt (1987) mencionaron que hay una correlación inversa entre la concentración de lactosa y la cantidad de caseína en la leche.

Jenkins y McGuire, (2006) señalaron que el contenido de lactosa no puede ser manipulado con cambios en la dieta, excepto con restricciones muy severas en la alimentación. La proteína, por otro lado, tiene más respuesta a las variaciones que la lactosa pero mucho menores que la grasa. Los factores que pueden variar la concentración de lactosa en la leche son los relacionados con la salud de la ubre, por ejemplo la mastitis (Revilla, 1982).

Las dos formas de lactosa,  $\alpha$  y  $\beta$ , son solubles en agua a 20°C con una media aproximada de 70 a 500 g/L, respectivamente. En equilibrio, la relación entre  $\alpha$  y  $\beta$  es de 1:2. La solubilidad de la  $\alpha$ -lactosa es más dependiente de temperatura que la  $\beta$ -lactosa y se cristaliza a los 94°C (Fox y McSweeney, 2009).

Cuando la leche es expuesta a temperaturas por encima de los 100°C la lactosa sufre una descomposición en la estructura de sus cristales, que se manifiesta en un cambio de color o acafetamiento (Revilla, 1982), también conocida como reacción de Maillard.

Existen otros carbohidratos en la leche en muy bajas concentraciones como glucosa libre (0.1 mM) y galactosa libre (0.2 mM). También hay oligosacáridos neutros y ácidos, así como azúcares de los nucleótidos (Hurley, 2009).

### *Vitaminas*

La palabra “vitamina” proviene del latín “*vita*” que significa vida y del componente nitrogenado “amino” (aunque no todas las vitaminas son aminas) (Schaafma, 2002). El término fue acuñado por Casimir Funk en 1912 (Fox, 2002).

Las vitaminas no pueden ser sintetizadas por el hombre pero son esenciales para el crecimiento, el mantenimiento y un metabolismo normal (Fox, 2002). La leche bovina es una fuente importante de vitaminas en la dieta humana, sobretodo de riboflavina y cobalamina. Las concentraciones en leche de vitaminas como la A y E dependerán de las características de la dieta, la estación del año y del contenido de grasa de la leche (Fox, 2002).

Las vitaminas liposolubles se asocian con la concentración de grasa en la leche mientras que las hidrosolubles o vitaminas del complejo B y la vitamina K son sintetizadas dentro del rumen por la flora bacteriana, por lo que su deficiencia es poco probable (Fox, 2002).

La absorción de las vitaminas liposolubles depende de la presencia y absorción de la grasa de la dieta y de acción de las sales biliares (formación de micelas). El consumo excesivo de este grupo de vitaminas resulta tóxico y la deficiencia tarda en presentarse ya que se almacenan en el tejido graso (Schaafma, 2002).

La leche es una fuente importante de vitamina A y D para niños y adultos; por ejemplo, la leche contribuye entre el 10 y 30% del consumo de vitamina A y entre el 40 y 60% para el caso de la vitamina D, siendo la fuente más importante para la dieta de los estadounidenses (Morrissey y Hill, 2009).

La vitamina A es importante para la visión, la diferenciación celular, crecimiento y reproducción; es precursora de los carotenoides que juegan un papel importante en la pigmentación amarillenta de la leche y mantequilla. Su presencia, al igual que otros componentes, dependen de la raza, la estación del año y la dieta (Miller *et al.*, 2007).

La vitamina D, es también una vitamina liposoluble que juega un papel importante en la absorción de calcio y fósforo a nivel intestinal; su deficiencia reporta desmineralización de los huesos en jóvenes y adultos (Miller *et al.*, 2007).

La vitamina E tiene características antioxidantes para las membranas celulares y lipoproteínas lo que probablemente se traduce en una más larga vida de anaquel de la leche y sus derivados (Miller *et al.*, 2007).

La vitamina C es sintetizada en el hígado de las vacas y quizá en otros tejidos como el intestino o los riñones.

Las vitaminas hidrosolubles no se afectan gravemente con los procesos de pasteurización, pero son foto lábiles (Jensen, 1995).

La tiamina o vitamina B<sub>1</sub> se puede encontrar libre (50 a 70%), fosforilada (18 a 45%) o unida a proteínas (5 a 17%) (Jensen, 1995). La vitamina B<sub>12</sub> o cobalamina es termoestable, las pérdidas por pasteurización o refrigeración son menores al 10% (Scott, 1989); se absorbe en el intestino delgado por digestión pancreática (Jensen, 1995). En la leche la niacina tiene actividad cuando se presenta como niacinamida; el triptófano es su precursor (Crenin y Power, 1982; citado por Jensen, 1995).

### *Minerales*

Los minerales intervienen en todas las actividades químicas del cuerpo; pueden estar como iones inorgánicos, como sales (Cashman, 2002) o asociados a proteínas (Hurley, 2009), grasas, carbohidratos y ácidos nucleicos (Cashman,

2002). Se clasifican en macro (Cuadro 8) y micro minerales (Cuadro 9) según su concentración en la leche.

Cuadro 8. Concentración de macrominerales en leche de vacas.

| Mineral  | (mg L <sup>-1</sup> ) |
|----------|-----------------------|
| Sodio    | 530                   |
| Potasio  | 1360                  |
| Cloro    | 970                   |
| Calcio   | 1120                  |
| Fósforo  | 890                   |
| Magnesio | 110                   |

Fuente: Cashman (2002).

La leche y los productos lácteos son una fuente importante de minerales, sobretodo de calcio, fósforo, magnesio, potasio y algunos minerales traza como zinc (Miller *et al.*, 2007).

El sodio se encuentra elevado en la etapa de calostro pero los niveles decrecen con el establecimiento de la lactancia y vuelven a aumentar con el fin de la lactancia. Lo inverso sucede con el potasio y el cloro, ya que las concentraciones en el calostro son menores y luego aumentan. Las concentraciones de estos tres minerales en la leche son independientes del consumo de ellos en la dieta (Cashman, 2002).

El contenido medio de calcio y fósforo en la leche de vaca es de 1120 y 890 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. El calcio está más elevado en el calostro y al final de la lactancia pero varía según el consumo en la dieta o de la estación. El fósforo varía poco durante la lactancia, mientras que el magnesio llega a estar, incluso, al triple en el calostro para luego permanecer más o menos constante (110 mg L<sup>-1</sup>) y no se afecta incluso cuando se remueve la grasa de la leche (Cashman, 2002). Los cationes más comunes son: K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> que se balancean con la presencia de aniones como el Cl<sup>-</sup>, citrato y carbonatos (Hurley, 2009).

En general, las concentraciones de macrominerales decrecen con el aumento del porcentaje de grasa tanto en la leche como en los productos lácteos (Cashman, 2002). Los elementos traza (Cuadro 9) dentro de la leche están

influenciados por factores como la etapa de lactancia, el estado nutricional del animal, el medio ambiente y la genética (Cashman, 2002).

Cuadro 9. Contenido de minerales traza en 100 g de leche entera.

| Elementos traza | Contenido (µg) | Elementos traza         | Contenido (µg) |
|-----------------|----------------|-------------------------|----------------|
| Aluminio        | 46.00          | Molibdeno               | 7.30           |
| Boro            | 27.00          | Níquel                  | 2.70           |
| Bromo           | 60.00          | Plata                   | 4.70           |
| Cobalto         | 0.06           | Rubidio                 | 200.00         |
| Cobre           | 13.00          | Selenio (no selenífero) | 4.00           |
| Cromo           | 1.50           | Selenio (selenífero)    | > 127.00       |
| Estroncio       | 17.10          | Silicio                 | 143.00         |
| Flúor           | 15.00          | Vanadio                 | 0.0092         |
| Hierro (mg)     | 0.0492         | Yodo                    | 4.30           |
| Manganeso       | 2.20           | Zinc                    | 0.03811        |

Fuente: Miller *et al.* (2007).

### 2.3 Factores que modifican la producción y composición de la leche

La producción y la composición de la leche de vaca, son dos aspectos relevantes desde el punto de vista económico, tanto para el productor, como para la industria lechera. La composición es fundamental para la valoración de la leche, debido a que afecta su valor nutritivo y su dificultad de proceso (Lindmark-Månsson *et al.*, 2003).

Dentro de los factores que influyen la producción y composición de la leche, se encuentran: la raza de la vaca, la etapa de la lactancia, la nutrición, el sistema y nivel de alimentación, los cambios estacionales, la frecuencia de ordeño y sistema de ordeño (Huppertz y Kelly, 2009); aunque también existen fluctuaciones diarias en los animales que se manifiestan aun cuando todas las condiciones de producción se encuentren constantes (Alais, 2003; Lindmark-Månsson *et al.*, 2003). Entender estos factores es fundamental para maximizar la rentabilidad de la unidad de producción.

De acuerdo con Banks (1987), la manipulación de la composición de la leche, en especial de la grasa y la proteína, puede ser considerada a tres niveles: a)

cambio en el contenido del componente; b) cambio en la producción del componente; y c) cambio en la estructura del componente.

### **2.3.1 Factores nutricionales**

La nutrición es una de las principales herramientas para modificar la producción y composición de la leche en el corto plazo (Brun-Lafleur *et al.*, 2010). Factores dietarios de particular importancia, incluyen: 1) cantidad de forraje consumido, 2) relación forraje:concentrado de la ración, 3) composición de carbohidratos y lípidos en el concentrado; así como, 4) consumo total y frecuencia de alimentación (Sutton, 1989).

La proteína y la grasa en leche son los componentes de mayor importancia en los sistemas actuales de comercialización; en relación a éstos la modificación por medio de la alimentación es de 0.5% para proteína, mientras que para la grasa el cambio puede ser de hasta 3% (Sutton, 1989). Con respecto a los sólidos no grasos, se ha encontrado que su variación es paralela a la variación del contenido de proteína, pero no de caseína; por consiguiente, el margen de manipulación de los sólidos no grasos por medio de la alimentación es limitado (Banks, 1987).

Jenkins y McGuire (2006) señalaron que el contenido de lactosa no puede ser manipulado con cambios en la dieta, excepto con restricciones muy severas en la alimentación. Según Walsh (1968) la subalimentación trae consigo una reducción de 0.2% en el contenido de sólidos no grasos.

Otros factores, como el contenido de urea en leche, son dependientes del balance proteína-energía de la dieta; de modo que un incremento en el contenido de proteína en dieta sin la suficiente fuente de carbohidratos fermentables, ocasiona mayor presencia de urea en la sangre, y por lo tanto, mayor concentración de urea en la leche (Eicher *et al.*, 1999).

### **Consumo de energía y proteína**

Aunque la producción de leche puede ser afectada por varios nutrientes de la dieta son la proteína y la energía los más críticos (Brun-Lafleur *et al.*, 2010). Algunas investigaciones han demostrado que con un aumento en el consumo de energía, hay un incremento lineal en la producción de leche; sin embargo, no hay efecto en la concentración de proteína; mientras que para el caso de la grasa, se ha reportado un ligero decremento. Por su parte, una mejora en el consumo de proteína, promueve un aumento en producción de leche; sin embargo, no hay influencia en concentración de grasa o proteína (Brun-Lafleur *et al.*, 2010).

Generalmente la concentración de proteína y caseína incrementan con el aumento del consumo de energía de la dieta; pese a ello, no se ha observado una alteración en las fracciones de caseína. No obstante, varios trabajos (Barber *et al.*, 2005) han demostrado que las fracciones  $\alpha_{s1}$  y  $\alpha_{s2}$  de caseína, varían en función del tipo de fuente de energía (e.g. granos, aceites) con que se alimenta a las vacas. Con respecto al consumo de proteína, cuando ésta se ofrece por encima de los requerimientos del animal, la respuesta en composición de proteína y caseína no tienen tendencia definida (Barber *et al.*, 2005).

Un consumo bajo de proteína y energía, así como pobre eficiencia de utilización de la proteína de la dieta, son responsables de un punto de congelación de leche alto (Henno *et al.*, 2008). En vacas subalimentadas, en balance negativo de energía, normalmente hay una movilización de tejido adiposo, esto trae consigo un cambio en la concentración de grasa en leche y composición de la misma (Palmquist *et al.*, 1993).

### **Consumo de forraje**

El consumo de forraje afecta directamente a la producción de leche y sus componentes, por estar directamente relacionado con el consumo de energía y proteína. Dicho consumo, es a su vez afectado por la calidad, composición y disponibilidad del forraje. En sistemas de pastoreo, el manejo de la carga

animal es un aspecto clave que regula el consumo y calidad de la pastura; cargas altas traen consigo un descenso en el consumo de forraje por vaca, en consecuencia hay menor producción de leche y sus componentes (Holmes y Wilson, 1989).

Algunos estudios han observado un aumento significativo en las concentraciones de proteína total y caseína con el incremento en el nivel de forraje ofrecido, mientras que, con una alimentación restringida se ha presentado una reducción en el contenido de proteína cruda y proteína total, así como de caseína, en vacas en lactancia temprana y media (Barber *et al.*, 2005).

Cuando se comparan sistemas de producción (e.g. estabulado vs pastoreo) se ha encontrado que vacas en pastoreo presentan una menor producción de leche, así como menor producción de grasa y proteína (Bargo *et al.*, 2002).

Se ha planteado que estas diferencias probablemente son consecuencia de un cambio en los requerimientos de energía para mantenimiento, relacionado a la actividad de pastoreo y la caminata hasta la plataforma de ordeño; incluso, se ha cuantificado que el gasto de energía en estas actividades es de alrededor 5.4 Mcal d<sup>-1</sup>. Considerando que para producir un kg de leche se necesitan 0.64 Mcal de EN<sub>L</sub>, estas actividades pueden representar hasta 8.4 kg d<sup>-1</sup> de diferencia (Bargo *et al.*, 2002).

A pesar que ha sido demostrado que la producción de leche de vacas en pastoreo es menor que la de animales estabulados, cuando se compara la composición de la leche de vacas alimentadas con dieta totalmente mezclada, a la de vacas en pastoreo, ésta última presenta mayor concentración de ácido linoléico conjugado (CLA) (White *et al.*, 2001).

### ***Consumo y composición del concentrado***

Se ha observado que con un incremento en el consumo de granos (almidón fermentable), se incrementa la producción de leche y proteína, pero la concentración de grasa disminuye (Palmquist *et al.*, 1993).

El tipo de grano y el proceso al que éste se somete tiene influencia sobre la producción de leche, contenido de grasa y su composición; sin embargo, el efecto es variable, por ejemplo, las dietas basadas en cebada reducen la concentración de grasa en leche, no obstante, no hay cambio en la estructura de la grasa; en contraste con dietas basadas en maíz amarillo que produjeron grasa de leche con una baja concentración de C<sub>4:0</sub> pero alta en C<sub>18:1</sub> (Palmquist *et al.*, 1993).

El motivo principal de inclusión de grasa o aceite en el concentrado de la dieta es para incrementar el consumo de energía y la producción de leche; no obstante, ha sido ampliamente aceptado que esta inclusión tiene efectos específicos en la concentración de grasa en leche y la composición de ácidos grasos de la grasa de ésta (Sutton, 1989).

Estos efectos se deben parcialmente a la influencia que tiene la grasa en la fermentación del rumen; específicamente, la suplementación con grasa de 6 a 8% de total de la materia seca (Sutton, 1989), trae consigo un descenso en la digestión de los carbohidratos estructurales (fibra). Como consecuencia de esto, hay un cambio en el patrón de formación de ácidos grasos volátiles en el rumen, con un incremento en la concentración de ácido propiónico, mientras que los ácidos acético y butírico descienden. Una insuficiencia de ácido acético en el rumen puede ser la causa de una severa depresión de la síntesis de *novo* de grasa en la glándula mamaria (Palmquist *et al.*, 1993).

Con la adición de grasa en la dieta, ya sea de granos enteros o aceite, protegida o no para su degradación en rumen, se ha observado un descenso de 0.1 a 0.3 unidades porcentuales de proteína; también existe una disminución de los sólidos no grasos (DePeters y Cant, 1992; Carroll *et al.*, 2006). De manera similar, el contenido de N total en leche y la fracción de N en caseína descienden conforme se aumenta la grasa en la dieta (Carroll *et al.*, 2006).

Por su parte, Schroeder *et al.* (2004) observaron que la concentración de grasa en leche fue incrementada 5.1% con una suplementación con grasa saturada a

vacas en pastoreo, mientras que hubo un decremento de 8% en la concentración de grasa cuando éstas se suplementaron con grasa insaturada.

Ciertas dietas causan una marcada reducción en la producción de grasa de leche en rumiantes, comúnmente conocida como depresión de grasa de la leche o MFD por sus siglas en inglés; en este sentido, numerosas teorías han sido propuestas para explicar este fenómeno (Bauman y Griinari, 2003).

No obstante lo anterior, la teoría más soportada ha sido la de la biohidrogenación de los ácidos grasos de la dieta en el rumen, la cual establece que bajo ciertas condiciones de la dieta, las vías de biohidrogenación en el rumen son alteradas para producir únicamente intermediarios de ácidos grasos que inhiben la síntesis de grasa en leche. Dentro de estos intermediarios se encuentran los isómeros *trans*-10 y *cis*-12 del ácido linoléico conjugado (Bauman y Griinari, 2003). Con base en lo anterior, la suplementación de aceites insaturados de origen animal o vegetal ricos en ácido linoléico conjugado es una forma potencial de causar la depresión de grasa en la leche.

### ***Relación forraje concentrado***

La relación forraje:concentrado de la dieta está estrechamente relacionada con el cambio de concentración y consumo de energía; usualmente una reducción de la relación forraje:concentrado causa una caída de la concentración de grasa en leche (Sutton, 1989), sin embargo, el contenido de proteína y la producción de leche se incrementan (DePeters y Cant, 1992).

Varias investigaciones (Sutton, 1989; DePeters y Cant, 1992) han encontrado que con una relación forraje:concentrado 50:50 no hay cambio en el contenido de proteína, caseína y grasa; sin embargo, una reducción de esta relación trae consigo cambios significativos en producción y componentes de la leche.

La presencia de una cantidad determinada de forraje en la dieta de la vaca lechera, es principalmente para mantener un ambiente ruminal saludable; en específico para mantener un pH ruminal adecuado a través del estímulo de la

masticación y salivación, la cual tiene efecto *buffer*, además de ayudar a mantener un nivel aceptable de grasa en leche (Sutton, 1989).

### **2.3.2 Factores no nutricionales**

#### ***Raza de la vaca***

La habilidad para producir leche, grasa, y sólidos no grasos, son características heredables que presentan variación entre razas y entre individuos de la misma raza. En general, con una disminución de la producción de leche, el contenido de grasa se incrementa de acuerdo con la raza de la vaca en el siguiente orden: Holstein, Pardo Suizo, Ayrshire, Guernsey y Jersey. Por otro lado, la variación en el contenido de grasa va de 2.6 a 6% en Holstein, mientras que para Jersey se ha reportado que ésta va de 3.3 a 8% (Tyler y Ensminger, 2006).

La producción de leche actual y corregida al 4% de grasa, es mayor en la raza Holstein, respecto a Jersey y Pardo Suizo; esta tendencia también se observa para la producción de grasa, proteína y sólidos no grasos; mientras que el contenido total de N, nitrógeno no proteico y urea en leche, así como la concentraciones de Ca, Na, K, Mg y P no difieren entre razas (Carroll *et al.*, 2006).

La raza de la vaca también influye en el pico de producción diaria de lactosa, proteína y grasa, así como en el día en que se alcanza el pico de producción de grasa y proteína (Hickson *et al.*, 2006). Se ha encontrado que la leche de vacas Holstein tiene baja concentración de proteína, mientras que en aquella producida por vacas Jersey, la concentración de proteína es alta (DePeters y Cant, 1992).

Henno *et al.* (2008) encontraron que la raza tiene efecto ( $p < 0.05$ ) en el punto de congelación de la leche (rango -0.520 a -0.530 °C) siendo las vacas de la raza Holstein las que presentan el valor más alto respecto a razas nativas. En cuanto a la concentración de ácidos grasos, se ha encontrado que la leche de vacas

Holstein es alta en ácido linoléico conjugado, C<sub>16:1</sub>, C<sub>18:1</sub> y baja en C<sub>6:0</sub>, C<sub>8:0</sub>, C<sub>10:0</sub>, C<sub>12:0</sub> y C<sub>14:0</sub>, respecto a Jersey (White *et al.*, 2001).

#### *Diferenciación celular*

A pesar de que se ha señalado que la producción y composición de la leche son dependientes de la alimentación (Brun-Lafleur *et al.*, 2010), y de la raza de la vaca (Tyler y Ensminger, 2006), se ha demostrado que el número de células secretoras de leche y su actividad son las que determinan la forma y la curva de lactancia. En un estudio en el que se dio seguimiento a la lactancia de vacas Holstein, se encontró que el número de células secretoras es mayor al inicio de la lactancia, aunque la producción de leche es baja, no obstante, la producción de leche por célula se incrementa significativamente hasta el pico de lactancia y entonces se mantiene constante. Se ha propuesto la hipótesis de que este incremento se deriva de la diferenciación celular, mientras que, la disminución en producción de leche después del pico de producción, probablemente es resultado de la muerte de células secretoras por apoptosis y no por pérdida de actividad secretora (Svennersten-Sjaunja y Olsson, 2005).

Factores tales como la nutrición, el estrés oxidativo impuesto por la alimentación, y hormonas reproductivas como estradiol y progesterona, además de la frecuencia de ordeño, regulan la muerte celular programada (apoptosis) de las células secretoras; este proceso es un factor clave en la dinámica celular y con ello la persistencia de la lactancia puede ser modificada (Svennersten-Sjaunja y Olsson, 2005).

#### ***Etapas de lactancia***

Con el progreso de la lactancia hay cambios en la morfología y fisiología de la glándula mamaria. Existe evidencia que sostiene que, el número de células secretoras y su capacidad productiva son afectadas por la etapa de la lactancia, y dicho efecto se refleja en la producción diaria de leche (Svennersten-Sjaunja y Olsson, 2005).

Respecto al contenido de caseína y sus fracciones, gran parte de los estudios han encontrado que éstas varían de acuerdo con el avance de la lactancia (Barber *et al.*, 2005). Por su parte, el contenido de N total y NNP en leche, decrecen rápidamente después del parto, tienen su concentración más baja de la semana 5 a la 10 después del parto, seguida por un incremento gradual al final de la lactancia (DePeters y Cant, 1992).

Stoop *et al.* (2009) concluyeron que la etapa de la lactancia contribuye a la variación en la composición de la grasa de leche, y altera la actividad de los mecanismos de síntesis de ácidos grasos. Por ejemplo, los ácidos grasos saturados son altos en la primera mitad de la lactancia y posteriormente disminuyen, mientras que en ácidos grasos insaturados el efecto es variable.

Respecto a la concentración de lactosa en leche, ésta alcanza su máximo alrededor de la segunda y tercera semanas de la lactancia, posteriormente se mantiene constante, y en las últimas ocho semanas desciende alrededor de un 0.4%. Por otro lado, la concentración de sólidos no grasos incrementa con el avance de la lactancia, esto debido a que el descenso de lactosa es menor que el incremento en el contenido de proteína (Walsh, 1968).

El punto de congelación de la leche varía en 0.0032 °C por efecto la etapa de la lactancia; en este sentido, se ha encontrado que el punto de congelación se incrementa del primero al tercer mes, y entonces decrece con el progreso de la lactancia, con dos ligeros aumentos en el sexto y octavo mes (Henno *et al.*, 2008).

### ***Frecuencia de ordeño***

Se ha demostrado que con un aumento en la frecuencia de ordeño es posible incrementar la producción de leche de 10 a 15%. Esta mejora es atribuida a la frecuente remoción de la glicoproteína *FIL* (Factor inhibidor de la lactancia), la cual es producida en las células epiteliales, y tiene efectos negativos en el número de células secretoras; por ello una mayor remoción de esta proteína

(ordeño) promueve la proliferación de células secretoras y como consecuencia una mayor producción de leche (Svennersten-Sjaunja y Olsson, 2005).

Hickson *et al.* (2006) reportaron que la frecuencia (*e.g.* dos veces) de ordeño en vacas Friesian y Jersey afecta la producción total de leche, así como producción diaria y los días transcurridos desde el parto hasta que se alcanza el pico de producción de lactosa, proteína y grasa. Estos autores también encontraron que la persistencia de la curva de lactancia se mejora con dos ordeñas diarias.

### ***Número de partos***

El número de lactancia o parto está estrechamente relacionado con la edad del animal. Muchas vacas alcanzan su madurez y máxima producción de leche a los seis años de edad, después su producción declina; este efecto también ha sido notado para la producción de grasa (Tyler y Ensminger, 2006). Por su parte, el contenido de grasa en leche decrece alrededor de 0.2 unidades porcentuales de la primera a la sexta lactancia (Walsh, 1968).

Para el caso de los sólidos no grasos, el impacto del número de lactancia es mayor: el decremento en su concentración de la primera a la quinta lactancia va de 0.06 a 0.08% por cada lactancia. Esta caída está ligada a un descenso en contenido de lactosa, y no de proteína, ya que esta última desciende sólo 0.08% de la primera a la quinta lactancia (Walsh, 1968).

Svennersten-Sjaunja y Olsson (2005) mencionaron que el número de parto afecta la persistencia de la lactancia; en relación con lo anterior, las vacas de primer parto presentan una persistencia mayor que vacas multíparas. Conforme se incrementa el número de parto el contenido de caseína en leche disminuye; mientras que la proteína alcanza su máximo en vacas de 3 años de edad, después declina (DePeters y Cant, 1992).

### ***Época del año y efecto de hato***

El porcentaje de grasa en leche varía de 0.3 a 0.5% con la estación del año, es alta en invierno y cae en primavera y verano (Tyler y Ensminger, 2006). Los sólidos no grasos también presentan variación estacional, con el porcentaje más bajo en primavera y verano (Tyler y Ensminger, 2006). Este efecto ha sido reafirmado por Ozrenk y Sekul (2008) quienes encontraron que existe variación estacional significativa para el contenido de proteína, sólidos totales, grasa y acidez titulable; con porcentajes altos de grasa, proteína y sólidos totales en invierno y bajos durante el verano.

Respecto al efecto de hato sobre la producción y composición de la leche, se ha puntualizado que muchas de las diferencias encontradas son atribuibles a la raza, al potencial genético de los animales, la edad, la etapa de la lactancia y la presencia de enfermedades como mastitis. Para el caso de los sólidos no grasos, se encontró que la edad de la vaca, la etapa de la lactancia, la raza y el conteo de células somáticas explican el 70% de la variación entre hatos en sólidos no grasos (Walsh, 1968).

### ***Enfermedades***

La mastitis es una enfermedad que tiene impacto en la composición de la leche. En vacas afectadas hay una reducción en el contenido de caseína, mientras que la proteína de suero de la leche se incrementa (DePeters y Cant, 1992). Otros estudios encontraron que con una infección bacteriana en la ubre, hay una disminución en la producción de leche, también baja el contenido de grasa, sólidos no grasos, lactosa y caseína, mientras que hay un aumento de agua, nitrógeno total, albuminas y globulinas (Walsh, 1968).

Se ha observado que la incidencia de acidosis ruminal subaguda en ganado estabulado fue de 0.3% a través de la lactancia y es mayor en el primer mes posparto. En vacas afectadas de acidosis se ha notado un descenso en la producción de leche de 3 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, también se encontró una disminución en la concentración de grasa y proteína (Krause y Oetzel, 2006).

## 2.4 Literatura citada

- Agudelo G., D. A., O. Bedoya M. 2005. Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Revista Lasallista de Investigación* 2: 38-42.
- Alais C. 2003. *Ciencia de la Leche. Principios de Técnica Lechera*. 4ta (ed.). Reverté. Barcelona. 877 p.
- Banks, W. 1987. Opportunities for varying the composition of cow' milk. *Journal of the Society of Dairy Technology* 40(4): 96-99.
- Barber, D. G., A. V. Houlihan, F. C. Lynch, and D. P. Poppi. 2005. The influence of nutrition, genotype and stage of lactation on milk casein composition. *In: Indicators of Milk and Beef Quality*. Hocquette, J. F. and S. Gigli. (eds.). Wageningen Academic Publishers. The Netherlands. pp: 205-213.
- Bargo, F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2002. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 85: 2948-2963.
- Bauman, D. E., and J. M. Griinari. 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition* 23: 203-227.
- Bitman, J., and D. L. Wood. 1990. Changes in milk fat phospholipids during lactation. *Journal of Dairy Science* 73: 1208-1216.
- Brun-Lafleur L., L. Delaby, F. Husson, and P. Faverdin. 2010. Predicting energy × protein interaction on milk yield and milk composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93:4128-4143.
- Calvo, M. 2003. Bioquímica de los alimentos. <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/disacaridos.html>. Consultada el 10 de junio de 2010.
- Carroll, S. M., E. J. DePeters, S. J. Taylor, M. Rosenberg, H. Perez-Monti, and V. A. Capps. 2006. Milk composition of Holstein, Jersey and Brown Swiss cows in response to increasing levels of dietary fat. *Animal Feed Science and Technology* 131: 451-473.
- Cashman K. D. 2002. Minerals in dairy products. *In: Encyclopedia of Dairy Sciences*. Fuquay, J. W., P. F. Fox and H. Roginski (eds.). Elsevier Science & Technology. Oxford. Gran Bretaña. pp: 2051-2065.
- Curtis, H. y N. S. Barnes. 2001. *Biología*. 6ta (ed.). Medica Panamericana (ed.). Argentina. p. 74.
- deMan, J. M. 1999. *Principles of Food Chemistry*. 3a (ed). An Aspen Publication, Maryland US. p 50.

- DePeters, E. J., and J. P. Cant. 1992. Nutritional factors influencing the nitrogen composition of bovine milk: a review. *Journal of Dairy Science* 75: 2043-2070.
- Eicher, R., E. Bouchard, and M. Bigras-Poulin. 1999. Factors affecting milk urea nitrogen and protein concentration in Quebec dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine* 39:53-63.
- Fox, P. F. and P. L. H. McSweeney. 2009. *Advanced Dairy Chemistry Volume III Lactose, Water, Salts and Minor Constituents*. 3ra (ed.). Springer. USA. 778 p.
- Fox, P. F., 2002. Milk. *In: Encyclopedia of Dairy Sciences*. Fuquay, J. W., P. F. Fox and H. Roginski (eds.). Elsevier Science & Technology. Oxford. Gran Bretaña. pp: 1806-1812.
- Fukagawa N. K. and Y-M Yu. 2009. Nutrition and Metabolism of Proteins and Amino Acids. *In: Introduction to Human Nutrition*. Gibney M. J, S. A. Lanham-New, A. Cassidy y H. H. Vorster (eds.). Wiley-Blackwell. Oxford. pp: 49-73.
- Gasque, G. R. y M. A. Blanco O. 2001. *Zootecnia en Bovinos Productores de Leche*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. Departamento de Producción Animal: Rumiantes. Libro electrónico. 238 p. <http://fmvzenlinea.fmvz.unam.mx/login/index.php>. Consultada el 14 de noviembre de 2011.
- Henno, M., M. Ots, I. Jõudu, T. Kaart, and O. Kärt. 2008. Factors affecting the freezing point stability of milk from individual cows. *International Dairy Journal* 18: 210-215.
- Hickson, R. E., N. Lopez-Villalobos, D. E. Dalley, D. A. Clark, and C. W. Holmes. 2006. Yield and persistency of lactation in Friesian and Jersey cows milked once daily. *Journal of Dairy Science* 89: 2017-2024.
- Holmes, C. W., y G. F. Wilson. 1989. *Producción de Leche en Praderas*. Acribia. Zaragoza. pp: 46-51.
- Huppertz T. and A. L. Kelly. Properties and constituents on cow's milk. 2009. *In: Milk Processing and Quality Management* Tamime, A. Y. (ed.). Blackwell. Oxford Reino Unido. pp: 23- 47.
- Hurley, W. L. 2009. *Milk Composition and Synthesis*. <http://classes.ansci.illinois.edu/ansc438/Milkcompsynth/milkcompsynthresources.html>. Consultada el 17 de mayo de 2010.
- Jenkins, T. C., and M. A. McGuire. 2006. Major advances in nutrition: impact on milk composition. *Journal of Dairy Science* 89: 1302-1310.

- Jenness, R. and C. Holt. 1987. Casein and lactose concentrations in milk of 31 species are negatively correlated. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 49: 1015-1018.
- Jensen, R. G. 1995. Vitamins in milk. *In: Handbook of Milk Composition*. Jensen, R. G. (ed.). San Diego. Academic Press. pp: 688-692
- Jensen, R. G., A. M. Ferris, and C. J. Lammi-Keefe. 1991. The composition of milk fat. *Journal of Dairy Science* 74: 3228-3243.
- Keenan, T. W. and Patton, S. 1995. The Structure of Milk. *In: Handbook of Milk Composition*. Jensen, R. G. (ed.). San Diego. Academic Press. p. 31.
- Krause, K. M., and G. R. Oetzel. 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Animal Feed Science and Technology* 126: 215-236.
- LICONSA (Leche Industrializada CONASUPO, S. A. de C. V). 2007. Manual de Normas de Control de Calidad de Leche Cruda. <http://www.liconsa.gob.mx/innovaportal/file/1344/1/man-nor-cont-cal-lec-cruda-hist.pdf>. Consultada el 23 de septiembre de 2011.
- Lindmark-Månsson, H., R. Fondén y H. E. Pettersson. 2003. Composition of Swedish dairy milk. *International Dairy Journal* 13: 409–425.
- MacGibbon A. K. H. and M. W. Taylor. 2006. Composition and Structure of Bovine Milk Lipids. *In: Advanced Dairy Chemistry Volume II Lipids*. Fox, P. F. and P. L. H. McSweeney (eds.). 3ra (ed.). Springer. USA. pp: 1-42.
- Mather, I. H., and T. W. Keenan. 1998. Origin and secretion of milk lipids. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia* 3 (3): 59-69.
- Mayes, P. A. and K. M. Botham. 2003. Cholesterol Synthesis, Transport, and Excretion. *In: Harper's Illustrated Biochemistry*. Murray, R. K., D. K. Granner, P. A. Mayes and V. W. Rodwell (eds.). 35 (ed.). Lange Medical Books/McGraw-Hill. USA. p.50
- McGuire, M. A., and M. K. McGuire. 2000. Conjugated linoleic acid CLA a ruminant fatty acid with beneficial effects on human health. *Journal of Animal Science* 77: 1-8.
- Miller, G. D., J. K. Jarvis, and L. D. Bean. 2007. *Handbook of Dairy Foods and Nutrition*. 3ra (ed.). CRC Press. USA. 407 p.
- Monge-Rojas, R y Campos N., Hannia. 2006. Tabla de composición de alimentos de Costa Rica: Ácidos Grasos. INCIENSA. Costa Rica. pp: 23-24.

- Morrissey, P. A. and T. R. Hill. 2009. Fat-soluble vitamins and vitamin C in milk and milk products. *In: Advanced Dairy Chemistry: Lactose, Water, Salts and Minor Constituents*. McSweeney, P. L. H. y P. F. Fox (eds.). 3(ed.). Springer. New York. pp: 527-589.
- Nelson, D. L. y M. M. Cox. 2005. Lehninger, Principios de Bioquímica. 4a (ed.). Omega (ed.). Barcelona, España. 1264 p.
- Neville, M. C. 1995. Sampling and storage of human milk. *In: Handbook of Milk Composition*. Jensen, R. G. (ed.). San Diego. Academic Press. pp. 63-79.
- NOM-024-ZOO-1995 (Norma Oficial Mexicana NOM-024-ZOO-1995) Especificaciones y características zoonosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos, productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos. <https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:PSNMVCJ-4pEJ:www.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp>. Consultada el 29 de junio de 2010.
- Ozrenk, E., and S. Sekul Inci. 2008. The effect of seasonal variation on the composition of cow milk in Van Province. *Pakistan Journal of Nutrition* 7(1): 161-164.
- Palmquist, D. L. 2006. Milk fat: origin of fatty acids and influence of nutritional factors thereon. *In: Advanced Dairy Chemistry Volume II Lipids*. Fox, P. F. and P. L. H. McSweeney (eds.). 3ra (ed.). Springer. USA. pp: 43-92.
- Palmquist, D. L., A. D. Beaulieu, and D. M. Barbano. 1993. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *Journal of Dairy Science* 76: 1753-1771.
- Pinto, C. M., E. Carrasco R, B. Fraser I., A. Letelier H., y W. Dörner P. 1998. Composición química de la leche cruda y sus variaciones a nivel de silos en plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones de Chile. Parte I. Macrocomponentes. *Agro Sur* 26: 97-109.
- Revilla, A. 1982. Tecnología de la leche. 2da (ed.) Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costa Rica. pp: 31-32.
- Roos, Y. H. 2002. Water in dairy products. *In: Encyclopedia of Dairy Sciences*. Fuquay, J. W., P. F. Fox and H. Roginski (eds.). Elsevier Science & Technology. Oxford. Gran Bretaña. pp: 2727-2734.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación). 2009. Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en Unidades de Producción de Leche Bovina. [http://www.conasamexico.org.mx/conasa/pdf\\_carteles/manual\\_leche\\_bovina.pdf](http://www.conasamexico.org.mx/conasa/pdf_carteles/manual_leche_bovina.pdf). Consultada el 14 de febrero de 2012.

- Schaafma, G. 2002. Vitamins. *In: Encyclopedia of Dairy Sciences*. Fuquay, J. W., P. F. Fox and H. Roginski (eds.). Elsevier Science & Technology. Oxford. Gran Bretaña. pp: 2653-2726.
- Schroeder, G. F., G. A. Gagliostro, F. Bargo, J. E. Delahoy, and L. D. Muller. 2004. Effects of fat supplementation on milk production and composition by dairy cows on pasture: a review. *Livestock Production Science* 86: 1-18.
- Scott, K. J. 1989. Micronutrients in milk products. *In: "Micronutrients in Milk and Milk- Based Products*. Renner E. (ed.). Elsevier. New York. pp: 71-124.
- Shearer, J. K., K. C. Bachman, and J. Boosinger. 2003. The Production of Quality Milk. IFAS. Extension Veterinarian. Collage of Veterinary Medicine. University of Florida. pp. 1-8.
- Sherbon, J. W. 1999. Physical Properties of Milk. *In: Fundamentals of Dairy Chemistry*. Jenness, R., Wong, N. P., Marth, E. H., and Keeney M. (eds.). AN Aspen Publication, USA. 409 p.
- Simopoulos, A. P. 2000. Human requirement for n-3 polyunsaturated fatty acids. *Poultry Science* 79: 961-970.
- Stoop, W. M., H. Bovenhuis, J.M.L. Heck, and J.AM Arendonk. 2009. Effect of lactation stage and energy status on milk fat composition of Holstein-Fresian cows. *Journal of Dairy Science* 92: 1469-1478.
- Sutton, J. D. 1989. Altering milk composition by feeding. *Journal of Dairy Science* 72: 2801-2814.
- Svennersten-Sjaunja K., and K. Olsson. 2005. Endocrinology of milk production. *Domestic Animal Endocrinology* 29: 241-258.
- Swaisgood, H. E. 1995. Protein and amino acid composition of bovine milk. *In: Handbook of Milk Composition*. Jensen, R. G. (ed.). San Diego. Academic Press. pp. 464-468.
- Thompson, A., M. Boland and H. Singh. 2009. Milk Proteins from Expression to Food. 1a (ed.). Elsevier. USA. 535 p.
- Tyler, H. D., and M. E. Ensminger. 2006. Dairy Cattle Science. 4a. (ed.). Pearson Prentice Hall. Ohio E.U. pp: 215-217.
- Walsh, J. P. 1968. Factors affecting the solids-no-fat content of the milk of herds. *Journal of the Society of Dairy Technology* 21(2): 62-71.

- Walstra, P., J. T. M. Wouters and T. J. Geurts. 2006. Dairy Science and Technology. 2a (ed). Taylor & Francis. USA. 763 p.
- Wattiaux, M. A. 2011. Composición de la leche y valor nutricional. Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Universidad de Wisconsin-Madison. USA. pp. 73-76.
- White, S. L., J. A. Bertrand, M. R. Wade, S. P. Washburn, J. T. Green, Jr., and T. C. Jenkins. 2001. Comparison of fatty acid content of milk from Jersey and Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. Journal of Dairy Science 84: 2295-2301.
- Wiking, L., J. Stagsted, L. Björck and J. H. Nielsen. 2004. Milk fat globule size is affected by fat production in dairy cows. International Dairy Journal 14: 909-913.
- Wood, F. W., M. F. Murphy, and W. L. Dunkley. 1975. Influence of elevated polyunsaturated fatty acids on processing and physical properties of butter. Journal of Dairy Science 58: 839-845.
- Kelly A. L. and L. B. Larsen. 2010. Milk biochemistry. In: Improving the safety and quality of milk. Volume 1: Milk production and processing. Griffiths, M. W. (ed.). Woodhead Publishing Limited and CRC Press. p. 3.
- Research and Market. 2011. Mexico milk and dairy products market outlook to 2015. AM Mindpower Solutions [http://www.researchandmarkets.com/research/ce5bee/mexico\\_milk\\_and\\_da](http://www.researchandmarkets.com/research/ce5bee/mexico_milk_and_da). Consultada el 22 de Enero de 2012.

### **3. PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LECHE DE VACAS EN PASTOREO O EN ESTABULACIÓN**

#### **3.1 Resumen**

En México, la leche fluida destinada al consumo humano debe ajustarse a las normas de calidad fisicoquímica establecidas, donde existen varios factores que la determinan, entre los que destacan el genotipo de la vaca y el sistema de producción. Los objetivos del estudio fueron evaluar la calidad fisicoquímica de la leche de vacas en estabulación o en pastoreo en el centro de México; estimar parámetros de la curva de lactancia para predecir la producción diaria y por lactancia, de leche y sus componentes, así como los ingresos diarios por vaca estimados por concepto de venta de leche. Durante ocho semanas, se colectaron semanalmente muestras de leche de los ordeños matutino y vespertino de vacas individuales de los hatos muestreados, y se analizaron para determinar los porcentajes de grasa, proteína, caseína, lactosa, sólidos no grasos (SNG) y sólidos totales (ST). En general, la leche producida en los hatos en pastoreo fue de mejor calidad según las normas vigentes. Hay diferencia en los porcentajes de los componentes según el genotipo de los animales (Jersey > cruza > Holstein). El sistema de estabulación es mejor en producción diaria y total, en leche corregida al 4% de grasa, proteína, caseína, lactosa, ST y SNG con excepción de la producción de grasa que fue más alta en los sistemas de pastoreo. Los ingresos por vaca estimados por venta de leche fueron más altos en el hato en confinamiento debido al mayor volumen de producción.

**Palabras clave:** calidad de leche, pastoreo, estabulación

---

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo.  
Autora: Ursula Hershberger del Arenal.  
Director de Tesis: José Guadalupe García Muñiz, Ph. D.

## **YIELD AND MILK QUALITY OF CONFINED OR GRAZING DAIRY COWS**

### **3.2 Abstract**

In Mexico fluid milk for human consumption has to comply with established standards of quality, and factors such as cow genotype and feeding system can have a key influence. The objectives of the study were to evaluate milk physicochemical quality of cows of different genotypes on two herds grazing mixed pastures and one confined herd fed a total mixed ration in central Mexico; to estimate lactation curve parameters to predict daily and total yield of milk and its components, as well as the predicted cow daily income due to milk sale. For cows from the three herds, am and pm milk samples were collected once a week during eight weeks, and analyzed for the percentages of fat, protein, casein, lactose, nonfat solids (NFS), and total solids (TS). Milk from the grazing herds was better qualified by the established Mexican standards of milk quality. Across herds and feeding systems there were differences due to cow genotype for milk components percentage (Jersey>crossbreed>Holstein). In general, cows in the confinement herd produced higher daily yields of 4% fat corrected milk, protein, casein, lactose, TS and NFS, except for a higher daily yield of fat in one of the grazing herds. Daily estimated cow income due to milk sales was higher for cows on the confined herd due to their higher milk yield.

**Keywords:** milk quality, grazing cows, confined cows.

---

Master in Science Thesis. Universidad Autónoma Chapingo.  
Author: Ursula Hershberger del Arenal.  
Advisor: José Guadalupe García Muñiz, Ph. D.

### 3.3 Introducción

La leche constituye un alimento básico en la alimentación humana, especialmente para los niños ya que aporta aminoácidos esenciales y ácidos grasos que éstos requieren para su crecimiento y desarrollo (Simopoulos, 2000; Guzmán *et al.*, 2003).

Para cumplir con las expectativas nutricionales de la población humana la leche debe reunir una serie de requisitos en su composición físico-química, sus cualidades organolépticas y el número de microorganismos presentes en ella (Vargas, 2006). La calidad de la leche, como de cualquier otro producto o insumo, requiere ajustarse a especificaciones establecidas en normas o estándares de calidad. Para el caso de la leche de bovino en México, la normativa legal está contenida en la Norma Mexicana *NMX-F-700-COFOCALEC-2004, Sistema Producto Leche-Alimento-Lácteo-Leche cruda de vaca-especificaciones fisicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba* (COFOCALEC, 2005) y la *NOM-155-SCFI-2003. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba*.

La calidad de la leche dependerá de las concentraciones de sus componentes como grasa, proteína, lactosa, minerales, caseína, ácidos grasos libres, sólidos totales y sólidos no grasos, y parámetros físicos como densidad, acidez y punto de congelación (Hurley, 2009).

La cantidad de grasa y proteína juega un papel importante en la industria, ya que se llega a pagar un incentivo a leche con altas concentraciones de estos componentes (*i.e.* >3.2 y >3.1% de grasa y proteína, respectivamente), debido a que la leche con estas especificaciones presenta mayores rendimientos al momento de procesarla en distintos derivados lácteos (Vargas, 2006; COFOCALEC, 2005).

La raza de la vaca y el sistema de alimentación de los animales son los dos factores que en mayor medida afectan la concentración de los componentes de

la leche, por lo que es importante determinar las diferencias específicas debidas a estos factores (Jenkins y McGuire, 2006).

En México la leche de bovino se produce en cuatro sistemas de producción en las distintas regiones del país: especializado, semiespecializado, lechería familiar y doble propósito (Blanco, 2010). La mayoría de la leche producida en México proviene de los sistemas especializados y de lechería familiar, localizados primordialmente en las regiones templada, árida y semiárida del país, utilizando principalmente estabulación o semiestabulación con ganado de la raza Holstein. El sistema de doble propósito se practica en las regiones tropicales de México y utiliza ganado producto de las cruzas entre distintas razas cebuínas con Suizo Pardo, principalmente en pastoreo de praderas tropicales (Blanco, 2010).

En los últimos 15 años en las regiones templadas de México ha proliferado la producción de leche en pastoreo de praderas mixtas de alfalfa con distintas especies de pastos templados como ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) y el uso de animales de la raza Holstein, Jersey y sus cruzas (Blanco, 2010). La presencia de estos sistemas de producción de leche en esta región, con sistemas de alimentación contrastantes y la diversidad de genotipos presentes, representa una oportunidad para estudiar los efectos de los dos factores que más afectan la composición fisicoquímica de la leche como son la raza y el sistema de alimentación.

Los objetivos del estudio fueron: a) evaluar la calidad fisicoquímica de la leche de vacas en estabulación o en pastoreo en el centro de México y compararla con estándares nacionales; b) estimar funciones para predecir la producción diaria y por lactancia (kg/vaca), de leche, leche corregida al 4% de grasa, grasa, proteína, lactosa, caseína, sólidos no grasos y sólidos totales; y d) estimar los ingresos diarios y por lactancia por vaca, por concepto de venta de leche, cuando la leche se paga por calidad fisicoquímica.

### 3.4 Material y métodos

#### 3.4.1 Animales y ubicación

Se utilizaron vacas lecheras de las razas Holstein, Jersey y sus cruzas, primíparas y multíparas, en lactancia, clínicamente sanas, manejadas en un sistema de confinamiento total o en pastoreo rotacional intensivo en franjas, con uso de cercos eléctricos temporales, en praderas principalmente constituidas por alfalfa y presencia de otras gramíneas.

Los hatos muestreados se localizaron en dos áreas geográficas del altiplano mexicano, en el Estado de México y Querétaro. En el Estado de México se muestrearon los hatos de producción de leche en pastoreo y en estabulación de la Universidad Autónoma Chapingo. En Querétaro se muestreó el hato de producción de leche en pastoreo del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Animal en Altiplano (CEIEPAA), de la UNAM. En los tres sistemas de producción se muestrearon vacas Holstein, Jersey y/o sus cruzas. El número de animales de cada genotipo en cada uno de los hatos se presenta en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Número y genotipo de las vacas empleadas el estudio<sup>1</sup>.

| Grupo genético | Sistema de producción y localización |       |                   |       |                        |       |
|----------------|--------------------------------------|-------|-------------------|-------|------------------------|-------|
|                | Estabulado Chapingo                  |       | Pastoreo Chapingo |       | Pastoreo Tequisquiapan |       |
| Holstein       | 103                                  |       | 3                 |       | 28                     |       |
| Jersey         |                                      |       | 13                |       |                        |       |
| Cruzas         | 19                                   |       | 4                 |       | 2                      |       |
| Total          | 122                                  | (735) | 20                | (144) | 49                     | (350) |

<sup>1</sup> Entre paréntesis el número de muestras de leche colectadas para análisis durante el periodo de estudio.

Las unidades de producción de leche en estabulación y en pastoreo en el Estado de México se ubican dentro del complejo de la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, Estado de México, a 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, a 2250 msnm. El clima se clasifica como Cb (Wo) templado con lluvias en verano y una temperatura media anual de 15.2 °C con precipitaciones de 636.5 mm anuales (García, 1987). El área de

pastoreo está constituida por 23 hectáreas de praderas, principalmente de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y gramíneas de clima templado como pasto ovillo (*D. glomerata*), ballico anual (*Lolium multiflorum*) y ballico perenne (*L. perenne*), en un sistema de pastoreo rotacional intensivo, sin uso de suplementos.

El módulo de producción de leche en pastoreo del CEIEPAA de la UNAM está ubicado a 20° 36' 43.27" latitud norte y 99° 54' 54.77" longitud oeste, a 1860 msnm; presentando una precipitación de 511.8 mm anuales, y una temperatura promedio anual de 17.5 °C (CEIEPAA, 2005). Las praderas están compuestas principalmente por alfalfa y otras gramíneas como pasto ovillo (*D. glomerata*), ballico anual (*L. multiflorum*) y ballico perenne (*L. perenne*).

### **3.4.2 Toma de muestras de leche**

En cada uno de los tres hatos analizados se colectaron muestras de leche de vacas individuales durante los ordeños de la mañana y de la tarde. Semanalmente, durante ocho semanas, se colectaron muestras de leche de todas las vacas en lactancia en el día de muestreo. Para los dos hatos en pastoreo las muestras se colectaron en los horarios de 6:00 am y 15:00 pm, mientras que para el hato en estabulación la colecta de las muestras fue a las 3:00 am y a las 15:00 pm.

Las muestras de leche se colectaron en viales de plástico de 60 mL (Operadora ETESA S.A. de C.V.) conteniendo una pastilla de conservador (Bronopol, [2-bromo-2-nitro-1,3 propanediol], Operadora ETESA S.A. de C.V.). Los viales se llenaron directamente de los medidores de leche tipo Waikato (Waikato LTD Co., New Zealand) en el caso de las vacas en pastoreo de Chapingo; de las jarras individuales de recibo (AlfaLaval) para las vacas del sistema estabulado en Chapingo, y por medio de muestreadores automáticos (Westfalia GEA Farm Technologies) en el sistema de pastoreo del CEIEPAA. Adicionalmente, en cada ordeño se registró el volumen de leche producido por vaca para calcular su producción total en el día de muestreo. Los viales conteniendo las muestras de leche se identificaron con tinta indeleble (Sharpie, ACMI, USA) con el

número de la vaca, fecha de colecta, clave del rancho y ordeña (am o pm). Inmediatamente después de obtenidas, etiquetadas y selladas, las muestras de leche fueron refrigeradas a 4 °C, hasta antes de su análisis en el laboratorio.

### **3.4.3 Análisis físico-químico de muestras de leche**

Las muestras de leche se analizaron en el Laboratorio de Calidad de la leche del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Con los datos de producción de leche de los ordeños matutino y vespertino de cada vaca en el día de muestreo, se calculó el porcentaje de producción en cada ordeño. Se tomó la cantidad de leche correspondiente a cada porcentaje y se mezcló para obtener una submuestra compuesta y representativa de leche (60 mL) de cada vaca. Las submuestras fueron calentadas a baño María hasta alcanzar 40 °C y mezcladas suavemente antes de ser analizadas en un MilkoScan FT 120 (Foss Analytical Foss Electric, Denmark, infrarrojo por transformada de Fourier); para obtener los porcentajes de grasa, proteína, lactosa, caseína, sólidos no grasos, y sólidos totales de cada vaca en cada muestreo.

### **3.4.4 Información adicional de los animales**

Para cada vaca que tomó parte en el estudio se tuvieron los registros de control reproductivo y de producción de leche. Con la información la raza de los padres de la vaca, las fechas de parto y de servicio, se le asignó a cada vaca un grupo genético (Holstein, Jersey o cruce) y se determinó su número de lactancia y los días en leche para cada ocasión en que se tomaron las muestras. La producción de leche en el día de muestreo, la fecha de muestreo, la fecha de parto y los resultados del análisis de laboratorio, se utilizaron para calcular los días en leche y la producción de componentes por vaca en cada día de muestreo, así como la producción diaria de leche corregida al 4% de grasa (PL 4% grasa) utilizando la ecuación propuesta por Gaines y Davidson (1923).

$$PL\ 4\% \text{ de grasa} (kg^{-1} vaca^{-1} día^{-1}) = 0.4 \times \text{leche} (kg) + 15 \times [(\text{leche}, kg) \times (\text{grasa}, \%)]$$

### 3.4.5 Normatividad nacional para calidad de leche de bovino

Para evaluar la calidad de la leche de los hatos muestreados, en el presente estudio se utilizaron las especificaciones establecidas en la NMX-F-700-COFOCALEC-2004 para leche cruda. Los promedios para los porcentajes de grasa, proteína, lactosa y SNG se calcularon para cada hato y se compararon con los niveles del Cuadro 11 para determinar la categoría de pertenencia de la leche.

Cuadro 11. Parámetros de calidad de leche establecidos en la Norma Mexicana para leche cruda, NMX-F-700-COFOCALEC-2004<sup>z</sup>

| Parámetro         | Unidades | Clase | Nivel del parámetro |
|-------------------|----------|-------|---------------------|
| Grasa             | %        | A     | ≥ 3.2               |
|                   |          | B     | 3.10 a 3.19         |
|                   |          | C     | 3.00 a 3.09         |
| Proteína          | %        | A     | ≥ 3.1               |
|                   |          | B     | 3.00 a 3.09         |
|                   |          | C     | 2.80 a 2.99         |
| Sólidos no grasos | %        |       | 8.30 mínimo         |

<sup>z</sup> Fuente: NMX-F-700-COFOCALEC-2004.

Para calificar la leche de los hatos muestreados con relación a los porcentajes de sólidos totales y caseína, así como el porcentaje de caseína en la proteína, se utilizaron los estándares establecidos en la NOM-155-SCFI-2003 para leche pasteurizada, mismos que se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Especificaciones para leche entera pasteurizada NOM-155-SCFI-2003.

| Especificaciones                | Límites |        |
|---------------------------------|---------|--------|
|                                 | Mínimo  | Máximo |
| Lactosa (%)                     | 4.30    | 5.0    |
| Caseína (%)                     | 2.10    |        |
| Proporción Caseína:Proteína     | 0.7     |        |
| Sólidos totales de la leche (%) | 11.3    |        |

Fuente: NOM-155-SCFI-2003.

### 3.4.6 Estimación de ingresos por venta de leche con pago de calidad

Los ingresos por vaca por día, por concepto de venta de leche, se calcularon utilizando la información del sistema de pagos por calidad de leche de la empresa LICONSA, aplicada a productores de leche de los Altos de Jalisco.

Los parámetros de calidad y sus rangos se describen en el Cuadro 13. Para calcular el valor de la leche de cada vaca en el día de muestreo, en el presente experimento se consideró el precio base de leche caliente y sólo los premios por contenido de grasa y proteína.

Cuadro 13. Parámetros de calidad para el sistema de pagos de la leche a productores de los Altos de Jalisco por la empresa LICONSA.

| Tipo de leche       | Precio base (\$/litro) | Premio por calidad (\$/litro) | Parámetro de calidad |                    |
|---------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|
|                     |                        |                               | Grasa (g/litro)      | Proteína (g/litro) |
| Caliente            | \$4.06                 |                               | 28 a 29.9            | 28 a 29.9          |
| Fría                | \$4.20                 |                               | 28 a 29.9            | 28 a 29.9          |
| Fresca <sup>Z</sup> |                        | \$0.05                        | 30 a 32.9            |                    |
|                     |                        | \$0.10                        | 33 a 34.9            |                    |
|                     |                        | \$0.15                        | ≥35                  |                    |
|                     |                        | \$0.05                        |                      | ≥30                |

Z= leche fría o caliente.

Fuente: CSG (2011).

### 3.4.7 Análisis del forraje de las praderas y de la ración completa mezclada

Para los hatos en pastoreo, el muestro de la masa de forraje de las praderas, se realizó en las semanas 1, 4 y 8 del periodo de muestreo de leche. Para el muestreo de las praderas se utilizó la técnica de “Hand Plucking” descrita por Penning (2004). De igual manera, la ración total mezclada (RTM) del sistema estabulado, se muestreó al momento de ser ofrecida, directamente de los comederos.

Las muestras de alimento y forrajes frescos fueron pesadas (300 g) y colocadas en bolsas de papel con orificios (con un peso conocido) dentro de una estufa de

aire forzado (Wisconsin Oven, USA) a 68 °C por 48 horas. De este modo se calculó el contenido de materia seca de la RTM y de los forrajes de las praderas para las vacas en pastoreo.

El material seco se molió en un molino (Wiley, USA) con una criba de 1 cm de diámetro y se colocó en bolsas plásticas identificadas. Se analizó materia seca (método 934.01); cenizas (método 942.05); proteína cruda (método 988.05) y extracto etéreo (método 920.39) de acuerdo con AOAC (2000). La fibra detergente neutro (aFDNmo) se analizó utilizando la técnica reportada por Mertens (2002); para la determinación final se utilizó amilasa (Taka-Therm L-340) y los resultados se reportaron corregidos a materia orgánica. La fibra detergente ácido (método 973.18) se analizó según la técnica descrita por AOAC (2000). Los carbohidratos no fibrosos, energía metabolizable y neta de lactancia se estimaron con las siguientes formulas (Cuadro 14).

Cuadro 14. Ecuaciones para estimación de carbohidratos no fibrosos, EM y ENL.

| Ecuación                                                      | Referencias                 |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <b><math>CNF = 100 - (\%FDN + \%PC + \%CEN + \%EE)</math></b> | NRC, 2001                   |
| <b><math>EM = (14.55 - (0.0155 * FDA))/4.184</math></b>       | Barber <i>et al.</i> , 1984 |
| <b><math>EN_L = (0.703 * EM - 0.19)</math></b>                | NRC, 2001                   |

Donde: CNF = carbohidratos no fibrosos (%), EM= energía metabolizable (Mcal kg<sup>-1</sup> de MS), FDA= fibra detergente ácido (g kg<sup>-1</sup> de MS), EN<sub>L</sub> = energía neta de lactancia (Mcal kg<sup>-1</sup> de MS).

Cuadro 15. Promedio ( $\pm$  desviación estándar) de las semanas 1, 4 y 8 de muestreo, para la composición química, fraccionamiento de fibras y energía neta de lactancia de la dieta que consumieron las vacas de los hatos en estabulación o en pastoreo.

|                                               | Rancho                 |                  |   |                      |   |                           |
|-----------------------------------------------|------------------------|------------------|---|----------------------|---|---------------------------|
|                                               | Estabulado<br>Chapingo |                  |   | Pastoreo<br>Chapingo |   | Pastoreo<br>Tequisquiapan |
| Variable <sup>z</sup>                         | N                      | Promedio         | n | Promedio             | n | Promedio                  |
| MS (g kg <sup>-1</sup> )                      | 8                      | 449.4 $\pm$ 43.1 | 9 | 302.4 $\pm$ 37.5     | 9 | 310.7 $\pm$ 31.6          |
| aFDNmo (g kg <sup>-1</sup> de MS)             | 9                      | 310.2 $\pm$ 53.0 | 9 | 424.1 $\pm$ 79.9     | 8 | 397.4 $\pm$ 66.2          |
| FDA (g kg <sup>-1</sup> de MS)                | 9                      | 220.0 $\pm$ 48.8 | 9 | 265.3 $\pm$ 65.7     | 9 | 257.7 $\pm$ 31.5          |
| PC (g kg <sup>-1</sup> de MS)                 | 7                      | 183.5 $\pm$ 32.0 | 9 | 218.3 $\pm$ 28.4     | 9 | 223.9 $\pm$ 47.7          |
| EE (g kg <sup>-1</sup> de MS)                 | 9                      | 29.9 $\pm$ 8.8   | 9 | 21.8 $\pm$ 2.0       | 9 | 20.5 $\pm$ 3.2            |
| CEN (g kg <sup>-1</sup> de MS)                | 9                      | 102.6 $\pm$ 2.7  | 9 | 110.9 $\pm$ 11.9     | 8 | 113.5 $\pm$ 12.7          |
| CNF (g kg <sup>-1</sup> de MS)                | 9                      | 377.3 $\pm$ 32.7 | 9 | 224.8 $\pm$ 70.6     | 9 | 247.7 $\pm$ 54.9          |
| EN <sub>L</sub> (Mcal kg <sup>-1</sup> de MS) | 9                      | 1.8 $\pm$ 0.1    | 9 | 1.7 $\pm$ 0.2        | 9 | 1.7 $\pm$ 0.1             |

<sup>z</sup>MS=materia seca; aFDNmo= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido; PC=proteína cruda; EE= extracto etéreo; CEN=cenizas; CNF=carbohidratos no fibrosos; EN<sub>L</sub>= energía neta de lactancia.

### 3.4.8 Análisis estadístico

#### ***Composición de la leche en relación con la NMX-700-COFOCALEC-2004***

Para las variables de composición de la leche de los hatos comparados se obtuvieron distribuciones de frecuencia e histogramas utilizando el procedimiento FREQ de SAS (SAS, 2011). Los promedios y otros estadísticos descriptivos se obtuvieron para cada hato utilizando el procedimiento MEANS (SAS, 2011). Los promedios se compararon con los valores de referencia de la NMX-F-700-COFOCALEC-2004; también se calculó el porcentaje de muestras que sobrepasaron el nivel del indicador para considerar la leche como de calidad aceptable.

#### ***Estimación de funciones de producción e ingresos por vaca por venta de leche***

Para obtener estimadores de funciones de producción de leche, leche corregida al 4% de grasa, de los distintos componentes de la leche, así como los ingresos

diarios estimados por vaca por concepto de venta de leche, en cada uno de los hatos estudiados se ajustó la función propuesta por Wilmink (1987) utilizando el procedimiento NLMIXED (SAS, 2011). Dicha función se representa por la siguiente expresión:

$$Y_t = a + bt + cte^{(-0.05t)}$$

Dónde:  $Y_t$  es la producción (kg/vaca/día) de leche, leche corregida al 4% de grasa, proteína, grasa, lactosa, caseína, sólidos no grasos, sólidos totales, o los ingresos (\$/vaca/día) por concepto de venta de leche en un sistema de pago por calidad, en el día  $t$  de lactancia, en cada uno de los hatos estudiados;  $a$ ,  $b$  y  $c$  son parámetros de la función de Wilmink (1987) estimados por el procedimiento NLMIXED de SAS (SAS, 2011);  $t$  son los días en leche de la vaca en el día de muestreo, y  $e$  es la base de los logaritmos naturales (*i.e.* 2.71828...)

En cada uno de los tres hatos muestreados, a partir de la información de cada vaca de los días en leche y los registros de producción (kg/vaca/día) de leche, leche corregida al 4% de grasa, proteína, grasa, lactosa, caseína, sólidos no grasos y sólidos totales, se obtuvieron los estimadores de la función de Wilmink (1987) que definió la curva de mejor ajuste para cada hato y componente. El mismo procedimiento se siguió para obtener los estimadores de la función para calcular los ingresos diarios por vaca por venta de leche.

Una vez obtenidos los parámetros que describen las curvas de producción diaria de leche, leche corregida al 4% de grasa, componentes de la leche e ingresos por venta de leche, se obtuvieron para cada hato los totales de cada una de estas variables. Esto se hizo totalizando las producciones diarias predichas por la función de Wilmink (1987), para lactancias de hasta 400 días de duración, utilizando la siguiente expresión:

$$Y_{total} = \sum_{t=1}^{t=400} [a + bt + cte^{(-0.05t)}]$$

Dónde:  $Y_{total}$  es la producción total estimada por vaca de: leche, leche corregida al 4% de grasa, componentes de la leche e ingresos por venta de leche, en cada uno de los hatos estudiados;  $a$ ,  $b$  y  $c$  son parámetros de la función de Wilink (1987) estimados por el procedimiento NLMIXED de SAS (SAS, 2011);  $t$  son los días en leche de la vaca en el día de muestreo, y  $e$  es la base de los logaritmos naturales (i.e. 2.71828...)

### ***Efecto del sistema de producción, etapa de lactancia, genotipo, y número de parto de la vaca***

Los efectos fijos de hato, genotipo de la vaca (Jersey, cruzas, Holstein), número de parto, etapa de lactancia (primera = 1 a 100 DEL, segunda=101 a 200 DEL, tercera=201+), así como las covariables producción total de leche (PTL) por vaca en el día de muestreo (am + pm) y los días en leche en el día de muestreo (DEL), sobre los porcentajes de grasa, proteína, lactosa, caseína, sólidos no grasos y sólidos totales, se modelaron utilizando análisis de varianza para medidas repetidas con el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2011).

En el modelo estadístico el sujeto correspondió a la vaca, anidada en hato, genotipo y número de parto. Los efectos lineal, cuadrático y cúbico de la covariable DEL se ajustaron en el modelo en interacción con el factor hato, mientras que para la covariable PTL sólo se ajustó el efecto lineal, e interaccionando con hato cuando las variables analizadas no fueron ni la producción total de leche ni la producción de leche corregida al 4% de grasa. Dado que las fechas en que se realizó la colecta de muestras de leche en los distintos hatos no fueron las mismas, ya que el muestreo semanal lo hacía la misma persona, se especificó en el análisis de varianza la estructura de covarianzas de simetría compuesta, que es adecuada para esta estructura de medidas repetidas (Littell *et al.*, 2006). El modelo estadístico, después de eliminar interacciones de primer orden y covariables no significativas ( $p>0.05$ ), en análisis preliminares fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + H_i + G_j + P_k + V_l(H \ G \ P)_{ijk} + \hat{b}_1(DEL - \hat{\mu}_{DEL})^*H_i + \hat{b}_{22}(DEL - \hat{\mu}_{DEL})^2*H_i \\ + \hat{b}_{33}(DEL - \hat{\mu}_{DEL})^3*H_i + \hat{b}_2(PTL - \hat{\mu}_{PTL})^*H_i + e_{ijklm}$$

Donde:

$H_i$ : Efecto fijo del  $i$ -ésimo hato muestreado ( $i = 1, \dots, 3$ ),

$G_j$ : Efecto fijo del  $j$ -ésimo genotipo de la vaca ( $j = \text{Jersey, cruza, Holstein}$ ),

$P_k$ : Efecto fijo del  $k$ -ésimo número de parto de la vaca ( $k = \text{primíparas, multíparas}$ );

$V_l(H \ G \ P)_{ijk}$ : Efecto aleatorio de la  $l$ -ésima vaca anidada en el  $i$ -ésimo hato, el  $j$ -ésimo genotipo y el  $k$ -ésimo número de parto  $\sim \text{NI}(0, \sigma_v^2)$ ,

$DEL$ : Días en leche de la vaca en el día de muestreo, como covariable,

$\hat{b}_1, \hat{b}_{22}, \hat{b}_{33}$ : Coeficientes de regresión asociados con el efecto lineal, cuadrático y cúbico de la covariable días en leche de la vaca en el día de muestreo,

$\hat{\mu}_{DEL}$ : Media estimada de los días en leche de la vaca en el día de muestreo,

$PTL$ : Producción total diaria de leche (am + pm) por vaca en el día de muestreo, como covariable,

$\hat{b}_2$ : Coeficiente de regresión asociado con el efecto lineal de la covariable producción total diaria de leche (am + pm) por vaca en el día de muestreo,

$\hat{\mu}_{PTL}$ : Media estimada de la producción total diaria de leche (am+ pm) por vaca en el día de muestreo, y

$e_{ijklm}$ : Efecto residual distribuido  $\text{NI}(0, \sigma_e^2)$ .

En el enunciado Model del análisis de varianza con PROC MIXED (SAS, 2011) se especificó la opción 'solutions' para obtener los estimadores de los coeficientes de regresión de las covariables ajustadas. Con los coeficientes respectivos se elaboraron figuras para visualizar la forma de los patrones de relación entre los días en leche en el día de muestreo y las variables de respuesta modeladas.

### **3.5 Resultados y discusión**

#### **3.5.1 Calidad de la leche en comparación con la NMX-F-700-COFOCALEC-2004 y NOM-155-SCFI-2003**

Los estadísticos descriptivos, así como el porcentaje de muestras que sobrepasaron los estándares de calidad establecidos por la norma NMX-F-700-COFOCALEC-2004 para grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos; así como la NOM-155-SCFI-2003 en el caso de caseína, proporción caseína:proteína y sólidos totales, se presentan en el Cuadro 16.

En promedio la leche de los tres hatos estudiados sobrepasó los estándares de calidad establecidos en las normas NMX-F-700-COFOCALEC-2004 y NOM-155-SCFI-2003. Sin embargo, las muestras de los hatos en pastoreo fueron mejores que a aquellas de estabulación donde sólo el 66 y 70% de las muestras de leche sobrepasaron los estándares para grasa y proteína clase A, respectivamente. De manera similar, Castillo (2007) encontró que la leche de vacas Holstein en estabulación estuvo por debajo de los estándares establecidos por la NMX-F-700-COFOCALEC-2004 para porcentaje de grasa.

Resaltan los altos porcentajes grasa de las muestras de leche del hato en pastoreo de Chapingo, que sobrepasan las especificaciones de la norma para todos los indicadores de calidad de la leche. Probablemente debido a la mayor frecuencia de vacas Jersey dentro del hato en combinación con la menor producción de leche (Cuadro 16).

Cuadro 16. Estadísticos descriptivos para los porcentajes de grasa, proteína, lactosa, caseína, relación caseína:proteína, sólidos no grasos y sólidos totales calculados en muestras de leche de vacas individuales de hatos en estabulación o en pastoreo.

| Indicador                | Componente                |                              |                             |                             |                          |                         |                        |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
|                          | Grasa <sup>z</sup><br>(%) | Proteína <sup>z</sup><br>(%) | Lactosa <sup>z</sup><br>(%) | Caseína <sup>x</sup><br>(%) | Cas <sup>x</sup><br>Prot | SNG <sup>z</sup><br>(%) | ST <sup>x</sup><br>(%) |
| Estabulado Chapingo      |                           |                              |                             |                             |                          |                         |                        |
| N                        | 735                       | 733                          | 734                         | 733                         | 732                      | 735                     | 735                    |
| Promedio                 | 3.5                       | 3.3                          | 4.9                         | 2.7                         | 81                       | 8.9                     | 12.5                   |
| Mínimo                   | 0.2                       | 2.3                          | 3.4                         | 1.8                         | 68.5                     | 6.9                     | 7.9                    |
| Máximo                   | 8.1                       | 4.8                          | 5.4                         | 3.7                         | 87.4                     | 10                      | 17.3                   |
| Desviación estándar      | 0.9                       | 0.4                          | 0.3                         | 0.3                         | 2.9                      | 0.5                     | 1.2                    |
| CV (%)                   | 27.3                      | 11.1                         | 5.8                         | 11.3                        | 3.6                      | 5.1                     | 9.8                    |
| Clase A (%) <sup>y</sup> | 66                        | 70                           | 63                          | 98                          | 99.5                     | 94                      | 86                     |
| Pastoreo Chapingo        |                           |                              |                             |                             |                          |                         |                        |
| N                        | 143                       | 144                          | 144                         | 144                         | 143                      | 144                     | 141                    |
| Promedio                 | 5.1                       | 3.9                          | 4.7                         | 3.1                         | 80.5                     | 9.3                     | 14.4                   |
| Mínimo                   | 1.5                       | 3                            | 4                           | 2.4                         | 73.1                     | 7.9                     | 11.3                   |
| Máximo                   | 10.4                      | 4.9                          | 5.3                         | 3.9                         | 85.7                     | 10.1                    | 18.6                   |
| Desviación estándar      | 1.4                       | 0.4                          | 0.2                         | 0.4                         | 1.9                      | 0.5                     | 1.6                    |
| CV (%)                   | 27.7                      | 11.2                         | 4.5                         | 11.7                        | 2.3                      | 5.2                     | 11.1                   |
| Clase A (%) <sup>y</sup> | 98                        | 100                          | 95                          | 99                          | 100                      | 99                      | 100                    |
| Pastoreo Tequisquiapan   |                           |                              |                             |                             |                          |                         |                        |
| N                        | 350                       | 349                          | 350                         | 350                         | 348                      | 350                     | 350                    |
| Promedio                 | 4.6                       | 3.3                          | 4.8                         | 2.7                         | 81.7                     | 8.7                     | 13.4                   |
| Mínimo                   | 2.3                       | 2.4                          | 3.1                         | 1.6                         | 63.9                     | 6.4                     | 9                      |
| Máximo                   | 9                         | 4.5                          | 5.3                         | 3.8                         | 89.7                     | 9.9                     | 18.1                   |
| Desviación estándar      | 0.9                       | 0.3                          | 0.3                         | 0.3                         | 3.1                      | 0.4                     | 1.2                    |
| CV (%)                   | 19.2                      | 10.8                         | 6                           | 10.5                        | 3.8                      | 4.9                     | 8.6                    |
| Clase A (%) <sup>y</sup> | 98                        | 76                           | 78                          | 99                          | 100                      | 94                      | 99                     |

<sup>z</sup> SNG = sólidos no grasos; ST = sólidos totales; Cas/:Prot = proporción de caseína en la proteína de la leche.

<sup>y</sup> De acuerdo con los estándares de la NMX-F-700-COFOCALEC-2004.

<sup>x</sup> De acuerdo con los estándares de la NOM-155-SCFI-2003.

### 3.5.2 Producción de leche

En la Figura 6 se presentan los diagramas de dispersión para la producción total de leche registrada en los días de muestreo, para cada vaca muestreada en los tres hatos estudiados.

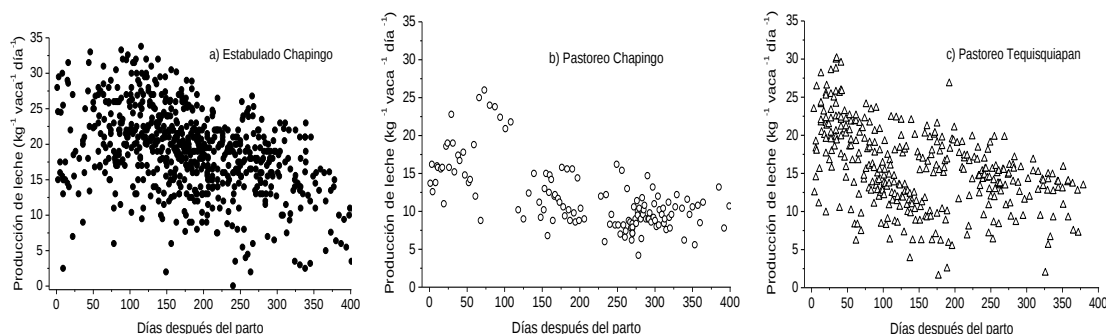


Figura 6. Diagrama de dispersión para la producción diaria de leche para los hatos en estabulación y en pastoreo en Chapingo (a y b), y el hato en pastoreo de Tequisquiapan (c).

En general, las vacas estabuladas y las del hato en pastoreo de Tequisquiapan mostraron producciones de leche más altas que las del hato en pastoreo de Chapingo. Producciones de magnitud similar ya han sido reportadas en hatos de la región central de México (Val-Arreola *et al.*, 2004).

Respecto a las diferencias entre hatos en los diferentes sistemas de alimentación, investigaciones recientes han encontrado que vacas en estabulación producen 33% más leche que vacas en pastoreo (Bargo *et al.*, 2002).

Las diferencias en producción de leche en hatos de una raza específica (e.g. Holstein) bajo diferente régimen de alimentación (*i.e.* estabulado vs pastoreo) son atribuibles a diferencias en requerimientos de energía para mantenimiento, relacionados a la actividad física durante el pastoreo y al recorrido hacia el centro de ordeño. En este contexto, se ha cuantificado que vacas en pastoreo tienen un incremento de  $5.4 \text{ Mcal d}^{-1}$  en sus requerimientos de mantenimiento; considerando un requerimiento de  $0.64 \text{ Mcal EN}_L \text{ kg}^{-1}$  de leche, este incremento puede significar  $8.4 \text{ kg de leche d}^{-1}$  de diferencia (Bargo *et al.*, 2002). Aunque la diferencia también es imputable a variaciones en consumo de energía derivados de distintas concentraciones de  $\text{EN}_L$  en la dieta (Cuadro 15) y restricciones en el consumo debido a la alta concentración de FDN (NRC, 2001).

La diferencia en producción de leche entre hatos compuestos de varias razas puede ser una respuesta al sistema de alimentación con las implicaciones antes descritas, y las razas empleadas, en este sentido, White *et al.* (2001) encontraron una interacción significativa en sistema de alimentación  $\times$  raza, en la que las vacas Holstein en estabulación produjeron más leche que aquellas en pastoreo. Sin embargo, no hubo diferencia entre vacas Jersey.

### 3.5.3 Producción diaria de leche y de lactosa

Las curvas ajustadas con la ecuación propuesta por Wilmlink (1987) para predecir las producciones diarias de leche y de lactosa, en cada uno de los hatos muestreados se presentan en la Figura 7. El patrón de ajuste del modelo fue muy similar para estas dos variables.

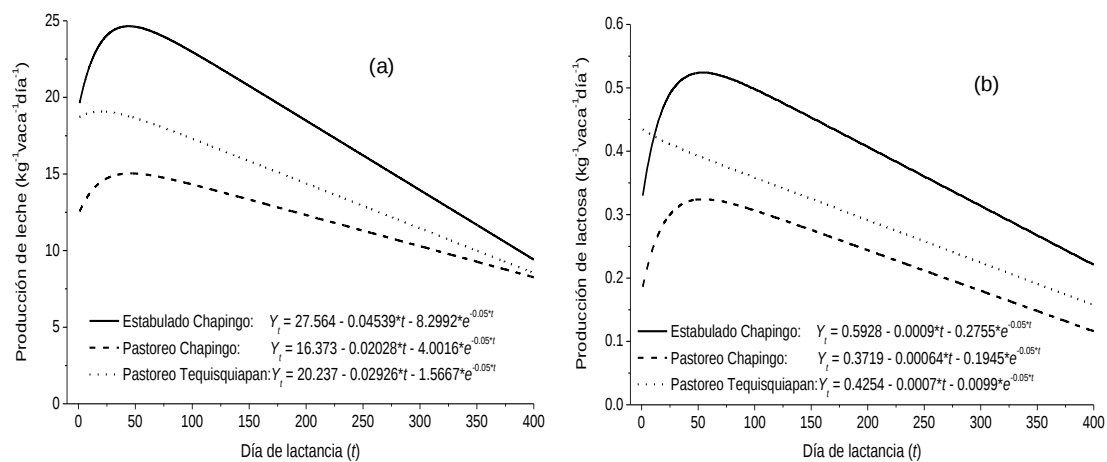


Figura 7. Curvas de producción diaria de leche (a) y de lactosa (b) obtenidas con la ecuación de Wilmlink (1987) para los hatos en estabulación y en pastoreo en Chapingo, y el hato en pastoreo de Tequisquiapan.

En correspondencia con los diagramas de dispersión para la producción observada de leche en los días de muestreo (Figura 6), las curvas estimadas predicen las producciones más elevadas para vacas del sistema estabulado, producciones intermedias para el sistema de pastoreo en Tequisquiapan, y en pastoreo Chapingo los rendimientos fueron más bajos.

Respecto a curva de producción de leche, Val-Arreola *et al.* (2004) reportaron que vacas en sistemas intensivos presentan una curva estándar y mayor

producción respecto a hatos en sistema de producción de pequeña escala; además, estos últimos mostraron una curva con pico menos definido. Horan *et al.* (2005) encontraron que los sistemas de alimentación, el potencial genético, la interacción entre ambas y el número de parto afectan la curva de lactancia; así mismo, Mostert *et al.* (2003) señala que la raza (Holstein vs Jersey) también tiene efectos significativos sobre las curvas de lactancia. Por lo anterior, las diferentes formas de las curvas de lactancia entre hatos en este estudio puede ser respuesta a los factores antes citados dentro de hato.

### 3.5.4 Producción de grasa y leche corregida al 4% de grasa

Las curvas ajustadas para estimar la producción diaria de grasa y leche corregida al 4% de grasa se presentan en la Figura 8. En ambos casos el patrón de ajuste del modelo de curva de producción fue muy similar para estas dos variables. Para el hato en pastoreo de Tequisquiapan la curva para predecir la producción diaria de grasa presenta una forma atípica con un máximo en el origen, debido al signo positivo del parámetro  $c$  de la ecuación de ajuste. Estudios previos (Stanton *et al.*, 1992; Silvestre *et al.*, 2009) también han observado esta característica.

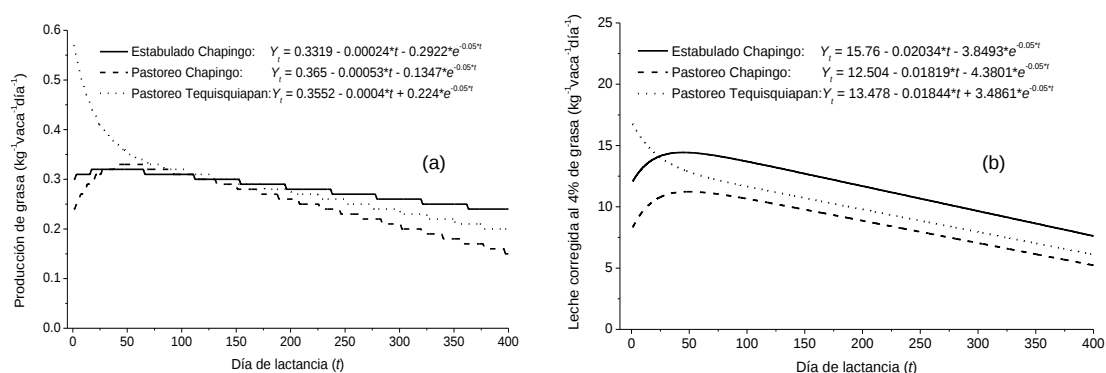


Figura 8. Curvas de producción diaria de grasa (a) y de leche corregida al 4% de grasa (b) obtenidas con la ecuación de Wilmink (1987) para los hatos en estabulación y en pastoreo en Chapingo, y el hato en pastoreo de Tequisquiapan.

Como pudiera esperarse, la forma atípica de la curva se mantiene cuando el ajuste se hace para la producción de leche corregida al 4% de grasa. Debido a la composición más rica en grasa de la leche de las vacas de los hatos en pastoreo, las curvas de producción diaria de grasa y leche corregida al 4% de grasa no difieren mucho para los hatos estudiados.

### 3.5.5 Producción de proteína y caseína

Las curvas ajustadas para estimar la producción diaria de proteína y caseína se presentan en la Figura 9. Dado que poco más del 80% de la proteína de la leche es caseína (Miller *et al.*, 2007), el patrón de ajuste del modelo es muy similar para estas dos variables.

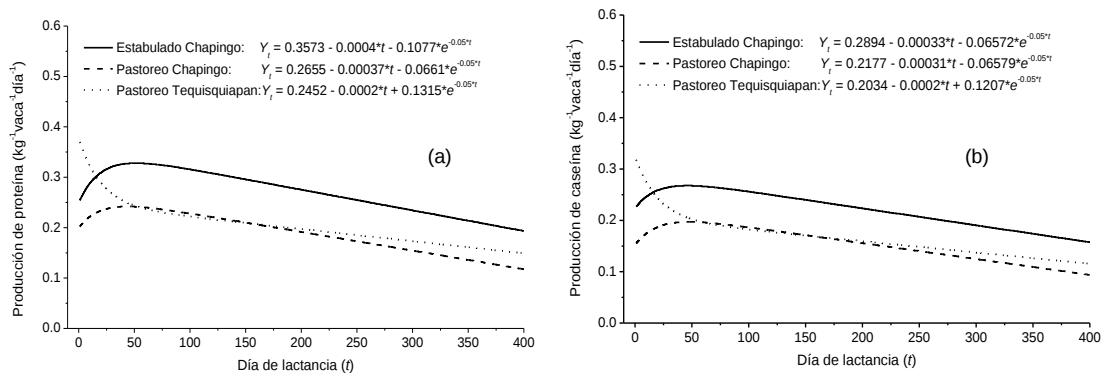


Figura 9. Curvas de producción diaria de proteína (a) y de caseína (b) obtenidas con la ecuación de Wilmink (1987) para los hatos en estabulación y en pastoreo en Chapingo, y el hato en pastoreo de Tequisquiapan.

La curva ajustada para predecir la producción diaria presenta una forma atípica para el hato en pastoreo de Tequisquiapan. Del mismo modo, Stanton *et al.* (1992) reportaron una producción máxima de proteína en el origen, que fue más evidente en vacas de tercer parto; una tendencia similar fue observada por Silvestre *et al.* (2009). Aproximadamente después del día 50 posparto las curvas ajustadas para los hatos en pastoreo prácticamente se traslapan.

### 3.5.6 Producción de sólidos no grasos y de sólidos totales

Las curvas ajustadas para estimar la producción diaria de sólidos no grasos y sólidos totales se presentan en la Figura 10. En ambos casos el ajuste de las curvas es muy similar para ambas variables, con mayor producción diaria para

el hato en estabulación y muy similar para los hatos en pastoreo. También para estas dos variables la curva ajustada para el hato en pastoreo de Tequisquiapan presenta una forma atípica que coincide con lo reportado por García y Holmes (2001) para el caso de sólidos totales.

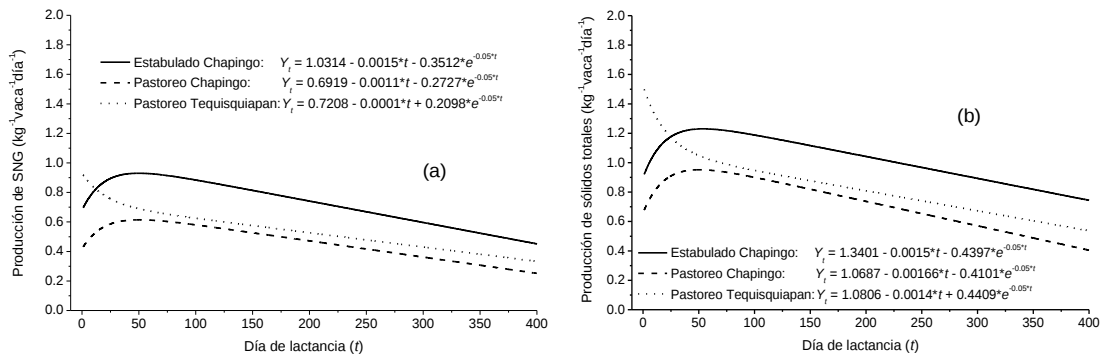


Figura 10. Curvas de producción diaria de sólidos no grasos (a) y de sólidos totales (b) obtenidas con la ecuación de Wilmink (1987) para los hatos en estabulación y pastoreo en Chapingo, y el hato de pastoreo de Tequisquiapan.

Al igual que para las curvas que predicen la producción diaria de proteína y caseína, después del día 50 posparto las curvas ajustadas para los hatos en pastoreo prácticamente se traslapan. Gran parte de la variación encontrada entre curvas de lactancia para producción de leche y sus componentes entre hatos se debe a efectos genéticos y medio ambientales (e.g. alimentación), además de la edad al parto, duración de la gestación y el número de registros utilizados en la estimación (Olori *et al.*, 1999). Aunque la estación de parto (*i.e.* otoño vs primavera), etapa de lactancia (García y Holmes, 2001), así como número de parto (Horan *et al.*, 2005) tienen, también, efectos significativos en las curvas de predicción. Otros estudios también encontraron efectos de heterosis en la curva de lactancia (Madalena *et al.*, 1979).

### 3.5.7 Ingresos por vaca por día

Las curvas ajustadas para estimar el ingreso diario por vaca por concepto de venta de leche cuando ésta se vende en un mercado que premia la calidad se presentan en la Figura 11. Para los hatos estudiados, las tres curvas difieren ampliamente en los primeros 250 días de lactancia, para después converger.

En promedio, la vaca del sistema estabulado produce diariamente una mayor cantidad de dinero por concepto de venta de leche, seguida por el sistema de pastoreo en Tequisquiapan, y la que menos produce es la del sistema de pastoreo en Chapingo. Las curvas tienen tendencia similar que aquellas de producción de leche (Figura 7), lo que pone en evidencia que los premios por calidad tienen poco impacto sobre los ingresos.

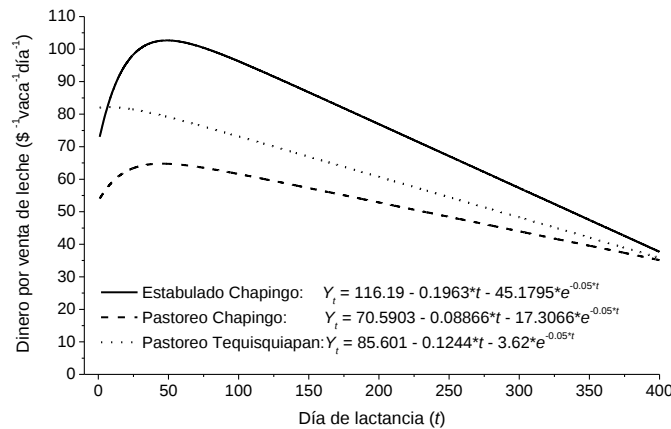


Figura 11. Curvas que predicen el ingreso diario por venta de leche obtenidas con la ecuación de Wilmink (1987) para los hatos en estabulación y pastoreo en Chapingo, y el hato en pastoreo de Tequisquiapan.

### 3.5.8 Producción acumulada de leche, componentes e ingreso estimado por vaca para lactancias de 400 días

Las estimaciones de las producciones acumuladas de leche, leche corregida al 4% de grasa, proteína, grasa, lactosa, caseína, SNG y ST, así como el ingreso total por venta de leche, por vaca en cada uno de los tres hatos estudiados se presentan en el Cuadro 17.

La producción acumulada de leche, leche corregida al 4% de grasa y componentes de la leche (*i.e.* proteína, lactosa, caseína, SNG y ST,) excepto la grasa, fueron superiores en el hato en estabulación; esta diferencia es atribuible en primer caso a la alimentación, ya que vacas en estabulación tienen menor gasto y mayor consumo de  $EN_L$  que aquellas en pastoreo (Bargo *et al.*, 2002; Vibart *et al.*, 2008); aunque el factor raza (*e.g.* Hostein vs Jersey) y su interacción con el sistema de alimentación son factores que determinan la

diferencia en producción de leche y sus componentes, con vacas Holstein en estabulación como las de mayor producción (White *et al.*, 2001).

Cuadro 17. Totales estimados, a partir del ajuste de la ecuación de Wilmink (1987) para lactancias de 400 días, de leche, leche corregida al 4% de grasa, proteína, grasa, lactosa, caseína, sólidos no grasos, sólidos totales, e ingresos por vaca por concepto de venta de leche de vacas en estabulación o en pastoreo de praderas de alfalfa y pastos templados.

| Indicador                                   | Sistema de producción <sup>z</sup> |                   |                        |
|---------------------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------|
|                                             | Estabulado Chapingo                | Pastoreo Chapingo | Pastoreo Tequisquiapan |
| Leche (kg vaca <sup>-1</sup> )              | 7223.5 (100)                       | 4844.6 (67.1)     | 5717.5 (79.2)          |
| Leche corregida al 4% de grasa <sup>y</sup> | 4596.3 (100)                       | 3457.3 (75.2)     | 3980.3 (86.6)          |
| Grasa <sup>y</sup>                          | 112.9 (100)                        | 100.9 (89.4)      | 114.4 (101.3)          |
| Proteína <sup>y</sup>                       | 107.9 (100)                        | 75.2 (69.7)       | 81.4 (75.4)            |
| Lactosa <sup>y</sup>                        | 157.2 (100)                        | 93.6 (59.5)       | 116.6 (74.2)           |
| Caseína <sup>y</sup>                        | 88.0 (100)                         | 60.9 (69.2)       | 66.1 (75.1)            |
| Sólidos no grasos <sup>y</sup>              | 289.4 (100)                        | 183.2 (63.3)      | 214.6 (74.2)           |
| Sólidos totales <sup>y</sup>                | 408.0 (100)                        | 286.3 (70.2)      | 331.8 (81.3)           |
| Ingresos por venta <sup>x</sup>             | 29851.6 (100)                      | 20788.0 (69.6)    | 24192.9 (81.0)         |

<sup>z</sup>Entre paréntesis el porcentaje con relación al indicador del sistema estabulado de Chapingo.

<sup>y</sup>(kg vaca<sup>-1</sup>).

<sup>x</sup>Cuando la leche se vende en un sistema de pagos que premia la calidad de la misma (\$ vaca<sup>-1</sup>).

Con base en estos antecedentes, las diferencias encontradas entre hatos en este estudio, pudieron estar influenciadas por la mayor frecuencia de vacas Holstein dentro del hato en estabulación (Cuadro 10) y del sistema *per se*.

Los ingresos estimados por vaca por venta leche considerando pago por calidad fueron superiores en el sistema estabulado. En correspondencia con estos resultados, en un estudio en el que evaluaron los ingresos económicos por venta de leche de hatos de vacas Holstein y Jersey en un sistema de pagos por múltiples componentes en Estados Unidos, Bailey *et al.* (2005) encontraron que un hato de 100 vacas Holstein produce \$31221 año<sup>-1</sup> más de ingreso sobre los costos que un hato de 100 vacas Jersey; estos autores también observaron que el factor más importante que afecta los ingresos sobre los costos (utilidad) es el volumen total de grasa y proteína producida, y no el porcentaje de cada componente. De acuerdo a lo anterior, en este estudio el mayor ingreso del hato en estabulación es consecuencia del mayor volumen de leche producido.

### **3.5.9 Efecto del sistema de producción, etapa de lactancia, genotipo y número de parto de la vaca**

Los resultados del análisis de varianza para medidas repetidas se presentan en el Cuadro 18. Las medias de cuadrados mínimos ( $\pm$  error estándar) para los efectos de hato, genotipo, etapa de lactancia y número de parto de la vaca, se compararon dentro de efecto, para los porcentajes de grasa, proteína, lactosa, caseína, sólidos no grasos y sólidos totales.

La composición de la leche de los hatos estudiados fue muy similar y, para este efecto, sólo se encontraron diferencias ( $p < 0.05$ ) en los porcentajes de grasa y lactosa. En el primer caso a favor de los hatos en pastoreo, y en el segundo a favor del hato en pastoreo de Tequisquiapan.

Estudios análogos (Vibart *et al.*, 2008) han encontrado que vacas en pastoreo producen leche con mayor porcentaje de grasa; no obstante, otros estudios (Bargo *et al.*, 2002) señalan que vacas en estabulación producen leche con más porcentaje de grasa que aquellas en pastoreo; este contraste se debe posiblemente a diferencia en el contenido de grasa en la dieta (Carroll *et al.*, 2006), normalmente alta en vacas alimentadas con RTM. Aunque en este estudio la composición genética del hato (e.g. % de vacas Holstein, Jersey y cruza), pudo ser el factor que determinó las diferencias; a este respecto, Carroll *et al.* (2006) observaron que la raza tiene efecto en el contenido de grasa (Jersey>Holstein) y lactosa (Holstein>Jersey).

En el caso del efecto del genotipo de la vaca la tendencia es muy clara para los porcentajes de caseína, sólidos no grasos y sólidos totales, en los que el genotipo Jersey supera ( $p < 0.05$ ) a las cruza y éstas a la Holstein. Para el caso del porcentaje de proteína, los genotipos Holstein y cruza produjeron leche con similares ( $p > 0.05$ ) contenidos pero inferiores ( $p < 0.05$ ) a la de Jersey. En cuanto al porcentaje de grasa, los genotipos Jersey y cruza superaron ( $p < 0.05$ ) a Holstein. Los tres genotipos representados en el estudio produjeron leche con concentraciones similares ( $p > 0.05$ ) de lactosa.

El mismo efecto ha sido observado en estudios previos (White *et al.*, 2001; Carroll *et al.*, 2006), evidenciado que la leche de Jersey tuvo el mayor porcentaje de grasa, proteína, SNG y ST respecto a Holstein y Pardo Suizo. White *et al.* (2001) tampoco encontraron diferencia entre razas para porcentaje de lactosa.

Cuadro 18. Medias de cuadrados mínimos ( $\pm$  error estándar) para los efectos de hato, genotipo y número de parto de la vaca, para los porcentajes de grasa, proteína, lactosa, caseína, sólidos no grasos y sólidos totales en la leche de vacas en estabulación o en pastoreo.

| Componente <sup>Y</sup> | Efecto <sup>Z</sup>          |                              |                              |
|-------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                         | Hato                         |                              |                              |
|                         | Estabulado <sup>X</sup>      | Pastoreo <sup>X</sup>        | Pastoreo <sup>W</sup>        |
| Grasa (%)               | 4.0 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>  | 5.0 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup>  | 4.6 $\pm$ 0.19 <sup>a</sup>  |
| Proteína (%)            | 3.5 $\pm$ 0.06               | 3.6 $\pm$ 0.09               | 3.3 $\pm$ 0.07               |
| Lactosa (%)             | 4.9 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>  | 4.7 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>  | 5.0 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>  |
| Caseína (%)             | 2.8 $\pm$ 0.05               | 2.9 $\pm$ 0.08               | 2.8 $\pm$ 0.06               |
| SNG (%)                 | 9.1 $\pm$ 0.08               | 8.9 $\pm$ 0.12               | 9.0 $\pm$ 0.09               |
| ST (%)                  | 13.3 $\pm$ 0.21              | 14.2 $\pm$ 0.41              | 13.6 $\pm$ 0.24              |
|                         | Genotipo                     |                              |                              |
|                         | Holstein                     | Jersey                       | Cruza                        |
|                         |                              |                              |                              |
| Grasa (%)               | 4.0 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>  | 5.1 $\pm$ 0.34 <sup>a</sup>  | 4.4 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>  |
| Proteína (%)            | 3.3 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>  | 3.8 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>  | 3.4 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>  |
| Lactosa (%)             | 4.8 $\pm$ 0.03               | 5.0 $\pm$ 0.08               | 4.8 $\pm$ 0.04               |
| Caseína (%)             | 2.7 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>  | 3.1 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>  | 2.8 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>  |
| SNG (%)                 | 8.7 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>  | 9.4 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>  | 8.9 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>  |
| ST (%)                  | 12.9 $\pm$ 0.17 <sup>c</sup> | 14.8 $\pm$ 0.42 <sup>a</sup> | 13.4 $\pm$ 0.19 <sup>b</sup> |
|                         | Número de parto              |                              |                              |
|                         | 1                            | $\geq 2$                     |                              |
|                         |                              |                              |                              |
| Grasa (%)               | 4.5 $\pm$ 0.15               | 4.6 $\pm$ 0.13               |                              |
| Proteína (%)            | 3.5 $\pm$ 0.05               | 3.5 $\pm$ 0.04               |                              |
| Lactosa (%)             | 4.9 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>  | 4.8 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>  |                              |
| Caseína (%)             | 2.9 $\pm$ 0.04               | 2.8 $\pm$ 0.03               |                              |
| SNG (%)                 | 9.1 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>  | 8.9 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>  |                              |
| ST (%)                  | 13.8 $\pm$ 0.17              | 13.7 $\pm$ 0.15              |                              |

<sup>Z</sup> Medias de cuadrados mínimos en la misma hilera y efecto, con diferente literal, son diferentes ( $P \leq 0.05$ ; Tukey).

<sup>Y</sup> SNG = sólidos no grasos; ST = sólidos totales.

<sup>X</sup> Localizados en Chapingo, Estado de México.

<sup>W</sup> Localizado en Tequisquiapan, Querétaro, México.

El número de parto sólo afectó a los porcentajes de lactosa y SNG, en donde las hembras primíparas produjeron leche con concentraciones más altas ( $p < 0.05$ ) para estos componentes que las multíparas. Estudios previos han encontrado que el parto tiene efecto en la producción de leche y sus componentes, donde vacas de tercer parto presentan la mayor producción (Horan *et al.*, 2005); mientras que otras investigaciones han reportado que los componentes de la leche (%) siguen una curva que se correlaciona negativamente con la producción de leche (Silvestre *et al.*, 2009), por lo que la diferencias en lactosa (%) y SNG (%), pueden deberse a un efecto de dilución por producción de leche.

Los efectos lineal, cuadrático y cúbico de la covariable día de lactancia (DEL) muestran que el porcentaje de grasa y el de proteína (Figura 12) son superiores para el hato en pastoreo de Chapingo; en particular, el porcentaje de grasa aumenta a partir del 100, alcanza su pico en el día 300, para posteriormente descender.

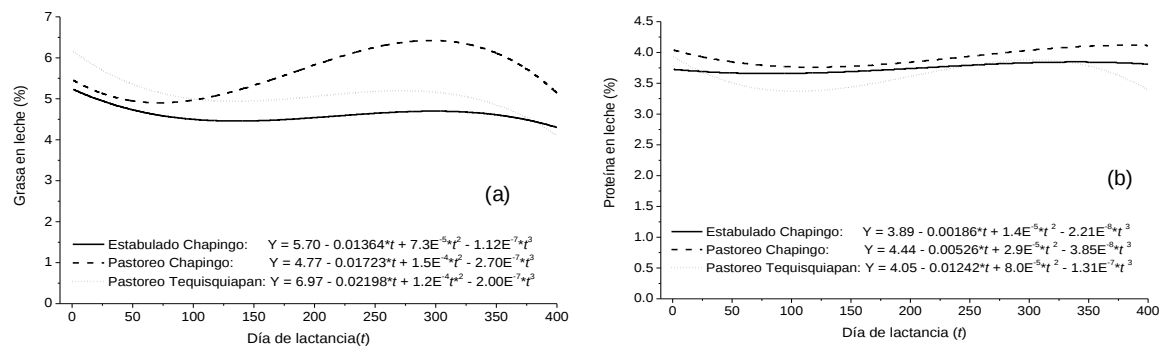


Figura 12. Curvas de regresión estimadas para el efecto lineal, cuadrático y cúbico de la covariable días en leche de la vaca en el día de muestreo para los porcentajes de grasa (a) y de proteína (b) en la leche de las vacas de los hatos estudiados

Por su parte el porcentaje de lactosa (Figura 13) es superior en el hato pastoreo Tequisquiapan y tiende a aumentar conforme avanza la lactancia; en el caso de porcentaje de caseína, ésta fue superior en el hato pastoreo Chapingo y alcanza su máximo al día 400 de lactancia.

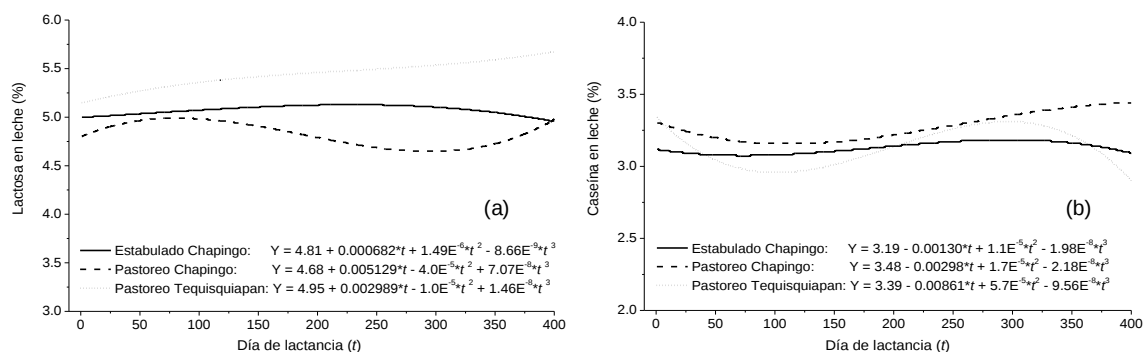


Figura 13. Curvas de regresión estimadas para el efecto lineal, cuadrático y cúbico de la covariable días en leche de la vaca en el día de muestreo para los porcentajes de lactosa (a) y de caseína (b) en la leche de las vacas de los hatos estudiados

Los ST (Figura 14) tienen una tendencia similar a la de producción de grasa, para este componente, el hato en pastoreo Chapingo es superior a partir del día 100, alcanza su máximo a partir del día 300 y posteriormente desciende. En contraste, el porcentaje de SNG se presenta superior en los primeros 350 días en el hato en estabulación de Chapingo.

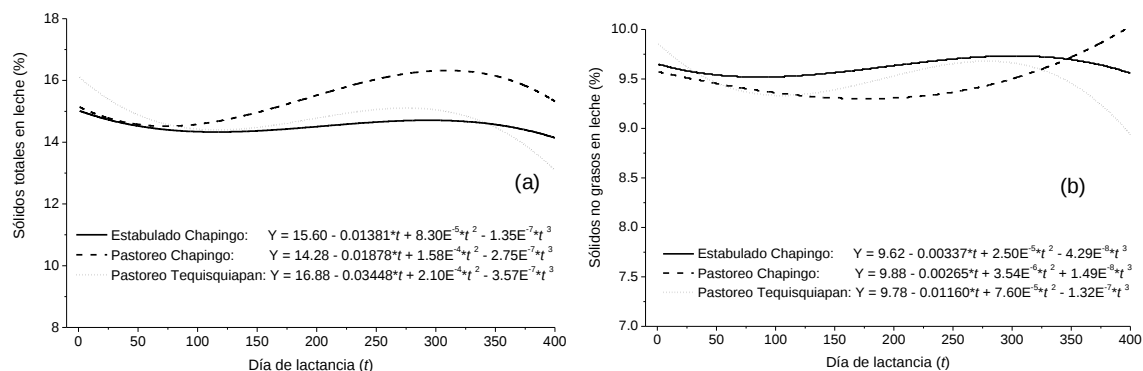


Figura 14. Curvas de regresión estimadas para el efecto lineal, cuadrático y cúbico de la covariable días en leche de la vaca en el día de muestreo para los porcentajes de sólidos totales (a) y de sólidos no grasos (b) en la leche de las vacas de los hatos estudiados

En general los efectos cuadrático y cúbico de los DEL fueron de menor magnitud en el sistema estabulado de Chapingo, ya que las curvas se presentaron más constantes respecto a las de los sistemas en pastoreo. La tendencia de los sistemas en pastoreo de presentar baja concentración de componentes en leche al inicio de la lactancia, y aumentar conforme ésta avanza, están de acuerdo con lo reportado en estudios previos (García y

Holmes, 2001; Silvestre *et al.*, 2009). Y puede responder a efectos de dilución por producción de leche, la cual tiene su punto máximo alrededor del día 90 posparto para posteriormente descender.

### **3.6 Conclusiones**

Las vacas de los hatos manejados en pastoreo produjeron leche con contenidos más altos de grasa, proteína, SNG y ST que las del sistema de estabulación, y, de acuerdo con los estándares establecidos en la NMX-F-700-COFOCALEC-2004 y la NOM-155-SCFI-2003, su leche fue de mejor calidad.

A través de sistemas de producción y número de parto de la vaca, la calidad fisicoquímica de la leche fue superior para las vacas del genotipo Jersey, seguido de las cruzas Jersey-Holstein, y las de la raza Holstein con los porcentajes más bajos de componentes.

Debido a la mayor producción de leche de las vacas en el sistema de estabulación, se obtuvo en este sistema mayor volumen diario y total de leche por lactancia, leche corregida al 4% de grasa, proteína, caseína, lactosa, SNG y ST, que en los sistemas de pastoreo comparados.

Los ingresos diarios y totales estimados por vaca, por concepto de venta de leche, fueron superiores en el sistema en estabulación, por lo que se concluye que, para las condiciones en las que se llevó a cabo este estudio, el ingreso por concepto de venta de leche depende más del volumen producido por vaca que de los incentivos establecidos por la industria para premiar la calidad fisicoquímica de la leche.

### 3.7 Literatura citada

- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Horwitz, W. (ed.). Gaithersburg, MD. 2200 p.
- Bailey, K. W., C. M. Jones, and A. J. Heinrichs. 2005. Economic return to Holstein and Jersey herds under multiple component pricing. *Journal of Dairy Science* 88: 2269-2280.
- Barber, W. Y., A. A. Adamson, and J. F. B. Altman. 1984. New methods of feed evaluation. *In: Recent Advances in Animal Nutrition-1984*. Haresign, W., and D. J. A. Cole. (eds.). Butterworths, London. pp: 161-176.
- Bargo, F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2002. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 85: 2948-2963.
- Blanco O., M. A. 2010. Zootecnia de bovinos productores de leche. *In: Introducción a la Zootecnia*. Trujillo O., M. E. (ed.). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de México. pp: 127-161.
- Carroll, S. M., E. J. DePeters, S. J. Taylor, M. Rosenberg, H. Perez-Monti, and V. A. Capps. 2006. Milk composition of Holstein, Jersey and Brown Swiss cows in response to increasing levels of dietary fat. *Animal Feed Science and Technology* 131: 451-473.
- Castillo M, T. 2007. Calidad de leche y cuenta de células somáticas en el ganado Jersey y Holstein en México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 164 p.
- CEIEPAA (Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Animal en Altiplano). 2005. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. [www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/ceiepag/localizacion.htm](http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/ceiepag/localizacion.htm) consultada 01 de abril 2009.
- NMX-F-700-COFOCALEC-2004 (Consejo para el Fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados, A.C.). 2005. Norma Mexicana NMX-F-700-COFOCALEC-2004. Sistema Producto Leche-Alimento Lácteo- Leche Cruda de Vaca. Especificaciones Físico-Químicas y Sanitarias y Métodos de Prueba. México.
- CSG (Centros de Servicios Ganaderos). 2011. Análisis de registros productivos, reproductivos y económicos de las unidades de producción pecuarias participantes (segunda evaluación). Universidad Autónoma Chapingo. México. 42 p.

- Gaines, W. L., and F. A. Davidson. 1923. Relation between percentage fat content and yield of milk. Agricultural Experiment Station Bulletin 245. University of Illinois. USA. p. 594.
- García S., C., and C. W. Holmes. 2001. Lactation curves of autumn- and spring-calved cows in pasture-based dairy systems. *Livestock Production Science* 68: 189-203.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF 246 p.
- Guzmán C. E., S. de Pablo V., C. G. Yáñez G., I. Zacarías H., S. Nieto K. 2003. Estudio comparativo de calidad de leche fluida y en polvo. *Revista Chilena de Pediatría* 74 (3): 277-286.
- Horan, B., P. Dillon, D. P. Berry, P. O'Connor, and M. Rath. 2005. The effect of strain of Holstein-Friesian, feeding system and parity on lactation curves characteristics of spring-calving dairy cows. *Livestock Production Science* 95: 231-241.
- Hurley, W. L. 2009. Milk Composition and Synthesis. <http://classes.ansci.illinois.edu/ansc438/Milkcompsynth/milkcompsynthresources.html>. Consultada el 25 de noviembre de 2010.
- Jenkins, T. C., and M. A. McGuire. 2006. Major advances in nutrition: Impact on milk composition. *Journal of Dairy Science* 89: 1302-1310.
- Littell, R. C., G. A. Milliken, W.W. Stroup, R. D. Wolfinger, and O. Schabenberger. 2006. SAS<sup>®</sup> for Mixed Models. 2a ed. Cary, NC: SAS Institute Inc. 814 p.
- Madalena, F. E., M. L. Martinez, and A. F. Freitas. 1979. Lactation curves of Holstein-Friesian and Holstein-Friesian × Gir. *Animal Production* 29: 101-107.
- Mertens, D. R. 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International* 85(6): 1217-1240.
- Miller, G. D., J. K. Jarvis, L. D. Bean. 2007. Handbook of Dairy Foods and Nutrition. 3ra (ed.). CRC Press. USA. 407 p.
- Mostert, B. E., H. E. Theron, and F. H. J. Kanfer. 2003. Derivation of standard lactation curves for South African dairy cows. *South African Journal of Animal Science* 33(2): 70-77.

- NOM-155-SCFI-2003. (Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2003). 2003. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.[http://www.cednna.oaxaca.gob.mx/pdf/normatividad/Reglas\\_div/rd8.pdf](http://www.cednna.oaxaca.gob.mx/pdf/normatividad/Reglas_div/rd8.pdf) Consultada 12 de julio de 2010.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Revised Edition. National Academic Press, Washington, DC. 381 p.
- Olori, V. E., S. Brotherstone, W.G. Hill, B.J. McGuirk. 1999. Fit of standard models of the lactation curve to weekly records of milk production of cows in a single herd. *Livestock Production Science* 58: 55–63.
- Penning P., D. 2004. *Herbage Intake Handbook*. 2 (ed.). The British Grassland Society UK. 183 p.
- SAS (Statistical Analysis Software). 2011. *SAS/STAT 9.3 User's Guide*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 564 p.
- Silvestre, A. M., A. M. Martins, V. A. Santos, M. M. Ginja, and J. A. Colaço. 2009. Lactation curves for milk, fat and protein in dairy cows: A full approach 122: 308-313.
- Simopoulos, A. P. 2000. Human requirement for n-3 polyunsaturated fatty acids. *Poultry Science* 79: 961-970.
- Stanton, T. L., L. R. Jones, R. W. Everett, and S. D. Kachman. 1992 Estimating milk, fat, and protein lactation curves with a test day model 75: 1691-1700.
- Val-Arreola, D., E. Kebreab, J. Dijkstra, and J. France. 2004. Study of the lactation curve in dairy cattle of farms in central México. *Journal of Dairy Science* 87: 3789-3799.
- Vargas N., T. 2006. *Calidad de la leche: visión de la industria láctea*. Fundación INLACA. Facultad de Ciencias Veterinarias. Venezuela. 6 p.
- Vibart, R. E., V. Fellner, J. C. Burns, G. B. Huntington, and J. T. Green Jr. 2008. Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. *Journal of Dairy Research* 75: 471-480.
- White, S. L., J. A. Bertrand, M. R. Wade, S. P. Washburn, J. T. Green, Jr., and T. C. Jenkins. 2001. Comparison of fatty acid content of milk from Jersey and Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *Journal of Dairy Science* 84: 2295-2301.

Wilmink, J. B. M. 1987. Comparison of different methods of predicting 305-day milk yield using means calculated from within-herd lactation curves. *Livestock Production Science* 17: 1-17.