



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRODUCCIÓN DE LECHE Y QUESO PANELA DE VACAS JERSEY Y SUS
CRUZAS CON HOLSTEIN EN PASTOREO ORGÁNICO

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

MIZAEEL JACOB PAREDES ESPEJEL



Bajo la supervisión de: JOSÉ GUADALUPE GARCÍA MUÑIZ, Ph D.



Junio 2014

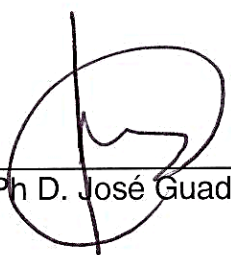
Chapingo, Estado de México

PRODUCCIÓN DE LECHE Y QUESO PANELA DE VACAS JERSEY Y SUS CRUZAS CON HOLSTEIN EN PASTOREO ORGÁNICO

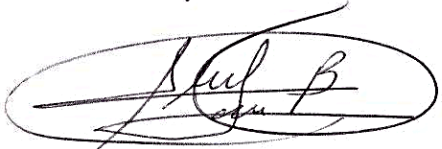
Tesis realizada por **MIZAEEL JACOB PAREDES ESPEJEL** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

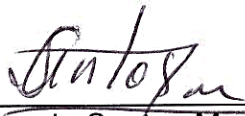
DIRECTOR:


Ph D. José Guadalupe García Muñiz.

CO-DIRECTOR:


Dr. Alejandro Lara Bueno

ASESOR:


MC. Armando Santos Moreno

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 La leche	3
2.2 Componentes de la leche	4
2.2.1 Lactosa.....	4
2.2.2 Proteínas.....	5
2.2.3 Proteínas del lactosuero (proteínas solubles)	8
2.2.4 Minerales.....	10
2.2.5 Glóbulo de grasa.....	10
2.3 El queso.....	11
2.4 Composición del queso (características fisicoquímicas).....	12
2.5 Rendimiento quesero.....	12
2.6 Factores que afectan el rendimiento en los quesos.....	13
2.6.1 Variación en los componentes químicos de la leche.....	13
2.7 Literatura citada.....	19
3. PRODUCCIÓN DE LECHE Y QUESO PANELA DE VACAS JERSEY Y SUS CRUZAS CON HOLSTEIN EN PASTOREO ORGÁNICO	24
3.1 Resumen	24
3.2 Abstract.....	25
3.3 Introducción.....	26
3.4 Materiales y métodos	27
3.4.1 Ubicación del estudio	27
3.4.2 Toma de muestras	28

3.4.3	Análisis de la calidad de la leche	28
3.4.4	Elaboración de quesos y medición de rendimiento	29
3.4.5	Análisis estadístico.....	30
3.5	Resultados y discusión.....	32
3.5.1	Ajuste de modelos de regresión aleatoria para variables de producción e ingreso diario.....	34
3.5.2	Ajuste de modelos de regresión aleatoria para variables de composición de la leche y peso vivo de la vaca	38
3.6	Conclusiones	43
3.7	Literatura citada.....	43
3.8	Apéndices	46

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Composición química de la leche de vaca.	4
Cuadro 2. Composición mineral y contenido de ácido cítrico en leche de distintas especies. (Medido en g/L).	10
Cuadro 3. Variación en la composición de la leche en relación con la raza.	13
Cuadro 4. Influencia de la época del año en la composición de la leche.	15
Cuadro 5. Pruebas fisicoquímicas y métodos de prueba.	29
Cuadro 6. Estadísticos descriptivos para las variables de calidad de la leche: grasa (%), proteína (%), lactosa (%), producción diaria de leche (kg/vaca/día), rendimiento de leche a queso panela (g/litro), la producción diaria de queso (kg/vaca/día) y los ingresos diarios (\$/vaca/día), cuando la producción se vendió como leche o como queso, para vacas de los genotipos Jersey y Holstein×Jersey o Jersey pastoreando praderas mixtas de alfalfa y pasto ballico perenne en Chapingo, Estado de México.	33
Cuadro 7. Coeficientes de regresión (e.e.) para la regresión fija de la variable independiente día de lactancia con las variables dependientes producción diaria de leche (litros/vaca/día), rendimiento de la leche para elaborar queso panela (g de queso/litro de leche), producción diaria de queso panela (kg/vaca/día), ingreso (\$/vaca/día) cuando la producción se vende como leche o como queso panela, de vacas Jersey y cruza de Holstein con Jersey pastoreando praderas mixtas de alfalfa y pasto ballico perenne en Chapingo, Estado de México.	36
Cuadro 8. Coeficientes de regresión (e.e.) para la regresión fija de la variable independiente día de lactancia con las variables dependientes grasa (%), proteína (%), lactosa (%) y peso vivo de la vaca (kg) de vacas Jersey y cruza de Holstein con Jersey pastor pastoreando praderas mixtas de alfalfa y pasto ballico perenne en Chapingo, Estado de México.	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la lactosa (forma α) Varnam y Sultherland (1994).	5
Figura 2. Isómeros de lactosa: α , izquierda y β , derecha (Schilmme y Bucherim, 2002)	5
Figura 3. Modelo de glóbulo de grasa (King)	11
Figura 4. Variación de la producción de leche durante la lactancia (Santos, 2007).	16
Figura 5. Evolución de la composición de la leche durante la lactancia (Santos, 2007).	17
Figura 6. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas), de los genotipos Jersey (verde) y cruza de Holstein×Jersey (azul) para la producción diaria de leche en el día de muestreo.	37
Figura 7. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas), de los genotipos Jersey (verde) y cruza de Holstein×Jersey (azul), para el rendimiento de la leche a queso panela (panel izquierdo) y para la producción diaria de queso panela (panel derecho) en el día de muestreo.	37
Figura 8. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas), de los genotipos Jersey (verde) y cruza de Holstein×Jersey (azul) para el ingreso bruto por vaca por día, cuando la producción diaria se vendió como leche (panel izquierdo) o como queso panela (panel derecho) en el día de muestreo.....	38
Figura 9. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas), de genotipos Jersey (verde) y Holstein×Jersey (azul) para el porcentaje de grasa en la leche en el día de lactancia.....	41
Figura 10. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas), de genotipos Jersey (verde) y Holstein×Jersey (azul) para el porcentaje de proteína en la leche en el día de lactancia.	41
Figura 11. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas),	

de genotipos Jersey (verde) y Holstein×Jersey (azul), para el porcentaje de lactosa en la leche en el día de lactancia.	42
Figura 12. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas) de genotipos Jersey (verde) y Holstein×Jersey (azul), para el peso vivo de la vaca (kg) en el día de lactancia.	42

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado al becario durante los estudios de Maestría.

A la Ing. Sonia Contreras Piña, responsable del Módulo de Producción de Leche Orgánica, de la Granja Experimental del Departamento de Zootecnia, de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se realizó el muestreo.

Al Ing. Guillermo Ayala Valencia y al Ing. Alejandro Vargas Cano responsables de la Unidad de Tecnología Lechera de la Granja Experimental, del Departamento de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se elaboró el queso y se evaluó el rendimiento.

Al Laboratorio de Calidad de Leche del Posgrado de Producción Animal, de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se realizó el análisis de calidad de leche.

A mis asesores Ph. D. José G. García Muñiz, Dr. Alejandro Lara Bueno y MC. Armando Santos Moreno por su apoyo y dirección de la tesis.

A la MC. Carla Samanta Godínez González por sus consejos y apoyo en el desarrollo de la fase experimental de la tesis

DEDICATORIAS

A mis padres Isidro Paredes Flores y Maricela Espejel González por su apoyo incondicional y sus sabios consejos que me han ayudado a cumplir mis metas

A mis hermanos: Isidro, Samuel Irvin e Itzel por su apoyo, comprensión y por compartir conmigo agradables momentos

A mi amiga Carla Samanta Godínez González por su apoyo incondicional en el ámbito laboral y académico, y por su invaluable amistad.

A la familia Gonzales Piña por su apoyo y comprensión en mi formación académica.

A Sofía Irene Salas Sánchez por compartir conmigo metas personales y académicas.

A mis compañeros de generación 2012-2013 en la Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Mizaël Jacob Paredes Espejel
Fecha de nacimiento: 23 de marzo de 1986
Lugar de nacimiento: Distrito Federal
CURP: PAEM860323HDFRSZ07
Profesión: Ingeniero Agroindustrial
Cédula: 08750201

Desarrollo académico

Preparatoria: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura: Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo
Maestría: Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La tendencia mundial es producir mayor rendimiento de leche, lo cual genera dos enfoques: producir más volumen de leche o producir más sólidos totales por vaca. Sin embargo, el incremento en volumen de leche por animal, normalmente lleva aparejado una disminución de los sólidos totales (Manterola, 2007).

El principal problema al que se enfrentan los fabricantes de queso son los bajos rendimientos que se obtienen en su elaboración, por esta razón, los quesos genuinos no resultan competitivos ante los análogos en el mercado (Ponce, 1999). En toda planta de elaboración quesera resulta útil evaluar y optimizar el rendimiento, para conocer la utilización rentable de los componentes de la leche, porque de él depende en gran medida el éxito de la actividad comercial (Alzuagaray *et al.*, 2010).

El rendimiento de la leche para elaborar queso depende de su composición y calidad sanitaria, el tratamiento de la cuajada, los equipos de elaboración, el proceso de manufactura, el uso adecuado de los insumos y la precisión de los procedimientos de medida (Sánchez, 1992; Cabrera, 2005).

La labor de optimización no es asunto exclusivo de la empresa fabricante de quesos, sino que comienza en el establo del productor de leche y continúa fuera de la fábrica, durante el transporte y comercialización de los productos terminados (Bylund, 1995).

Uno de los aspectos buscados en la mejora del ganado lechero es incrementar la calidad de la leche, para elaborar productos de mayor calidad y valor nutritivo.

Diversos estudios se han enfocado a la composición de la leche, específicamente al contenido de grasa y proteína. En estudios previos en las razas lecheras europeas (Holstein, Jersey, Ayrshire, Guernsey), altamente seleccionadas para la producción de leche, se ha observado que existe un efecto significativo de los genes que codifican para las caseínas contenidas en la leche, mismas que estimulan la lactancia, sobre caracteres de producción lechera (Fries y Ruvinsky, 1999).

Los grupos genéticos que representan la mayor proporción del país en bovinos de leche especializados son la Holstein y la Jersey, siendo a su vez las de mayor producción y composición láctea, y son ellas hacia donde se ha enfocado el mejoramiento genético de los bovinos. La Holstein ha sido el grupo genético más popular en muchos países, lográndose grandes ganancias en la producción de leche, grasa y proteína debido al éxito de los programas de selección genética (AIPL, 2006). El grupo genético Jersey se caracteriza por tener grandes ventajas como son su superioridad en fertilidad, excelente facilidad de parto y mayor longevidad. Sin embargo, la supervivencia de terneros es más baja en comparación con el grupo genético Holstein, además de una mayor susceptibilidad a mastitis (Caraviello *et al.*, 2005).

El análisis comparativo de las dos razas de vacas lecheras: (Holstein y Jersey) permitirá ver el panorama productivo con el fin de identificar cuál de ellas genera menores costos por litro de leche producida, en condiciones similares de manejo. Esta investigación tiene como objetivo determinar el efecto del genotipo de la vaca sobre la producción de leche, la calidad de la misma y el rendimiento en queso - panela de vacas Jersey y sus cruza con Holstein-Friesian.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La leche

La Norma Mexicana: NMX-F-700-COFOCALEC (2004), define leche cruda como la secreción natural de las glándulas mamarias, sin calostro y sin substracción alguna de sus componentes, y que no ha sido sometida a tratamientos térmicos. Es un líquido de composición compleja, blanco y opaco, de sabor ligeramente dulce y pH casi neutro (Santiago, 2004; Castañeda y Guerrero, 1999). Es un producto apto para el consumo humano por su alta calidad nutritiva, siempre y cuando se encuentre libre de sustancias tóxicas, microorganismos y calostros que alteran su composición (Santiago, 2004; Vargas, 2002).

Amiot (1991) indica que la mayoría de los constituyentes de la leche son sintetizados en la ubre a partir de precursores de origen sanguíneo, que provienen de la bioconversión de los elementos que constituyen el alimento como: celulosa, almidón, proteínas y lípidos. La leche es una mezcla de sustancias como lactosa, otros carbohidratos en menor concentración, lípidos, proteínas, sales minerales, vitaminas, etc., que coexisten en emulsión, suspensión y solución (Santos, 2007). Las propiedades nutricionales y tecnológicas (estabilidad térmica-aptitud para la transformación quesera y de mantequilla) dependen, en gran parte de las características fisicoquímicas de cada una de las fases que constituyen la leche (Scott, 1991).

La calidad integral de la leche adquiere gran importancia no solamente desde el punto de vista de la salud pública sino también del industrial, estando relacionada con composición general, mineral, sabor, aroma, a la presencia de contaminantes, a sus propiedades y obviamente necesita de todos los sectores

involucrados en la producción primaria, conservación, transporte, almacenamiento y transformación (Revelli *et al.*, 2004).

Es imprescindible partir de animales sanos, genéticamente aptos, condiciones apropiadas de alimentación y manejo, buenas prácticas de higiene, control y tratamiento de mastitis y otras patologías, con el objeto de asegurar al consumidor productos inocuos, íntegros y legítimos (Lagrange, 1979; Marth, 1981; Ruegg, 2006).

2.2 Componentes de la leche

Ceballos (1994) indica que la leche es un producto nutritivo que posee más de 100 sustancias entre las que sobresalen la lactosa, glicéridos de ácidos grasos, caseínas, albúminas, sales, etc. El promedio general de la composición de la leche de vaca se detalla en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química de la leche de vaca.

Componentes	%
Agua	87.3
Grasa	3.7
Proteína	3.4
Lactosa	4.8
Sólidos no grasos	9.0
Sólidos totales	12.7
Calcio	0.12
Cenizas	0.7

Fuente: Fox y McSweeney, (1998).

2.2.1 Lactosa

La lactosa es un carbohidrato que se encuentra libre en solución y es el componente más abundante, simple y constante; en la leche de vaca su contenido varía entre 48 y 50 g/L y es el factor limitante en la producción de leche, es decir, la cantidad de leche que se produce depende de la síntesis de la lactosa; el factor más importante de variación es la infección de la mama (Santos, 2007).

La lactosa es un disacárido que consta de una molécula de β -D-glucosa y una de

α -D-galactosa, que se unen por medio de un enlace β (Figura 1), es poco soluble en agua y cristaliza muy rápido (Pérez y Pérez, 1984).

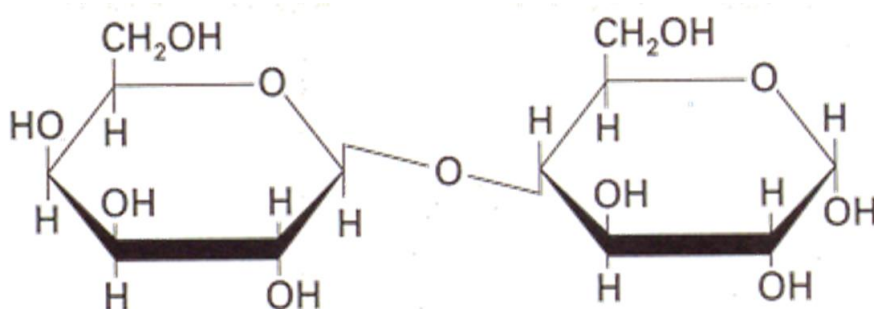


Figura 1. Estructura de la lactosa (forma α) Varnam y Sultherland (1994).

De acuerdo con Schilmme y Bucherim (2002), existen dos formas de isómeros de la lactosa, α y β , que sólo difieren en la configuración de los sustituyentes en el carbono número uno del residuo de glucosa. La diferencia en la estructura se encuentra en la Figura 2. La β -lactosa es la más soluble (7.3 a 17 g en 100 mL de agua) y aumenta con la temperatura; tiene un débil sabor dulce y por su poder edulcorante es seis veces menor que la sacarosa.



Figura 2. Isómeros de lactosa: α , izquierda y β , derecha (Schilmme y Bucherim, 2002)

2.2.2 Proteínas

De acuerdo con Ferrandini *et al.* (2006) las proteínas en la leche se dividen en caseínas y proteínas del lactosuero que corresponden al 80 y 20%, respectivamente, de la proteína total. La leche de vaca contiene cuatro tipos de caseínas y su concentración es de cerca de 25 g/l de leche, la casina es una

sustancia heterogénea conformada por 50% de α_S -caseína (α_{S1} 40% y α_{S2} 10%), 40% de β -caseína y 10% de κ -caseína (Inda, 2000).

2.2.2.1 α_S -Caseína

Es la proteína más abundante y el subíndice «S» significa «sensible» a las sales de calcio, es decir, que flocula aun en presencia de pequeñas cantidades de iones calcio; tiene un peso molecular de 23.600 g/mol, es la proteína de la leche más rica en fósforo (1.1%), no contiene carbohidratos ni cistina; sin embargo, se han publicado análisis que reportan 0.2% de cistina. Está constituida por una sola cadena polipeptídica que contiene 199 aminoácidos (Santos, 2007).

2.2.2.2 α_{S1} -Caseína

La secuencia de la caseína α_{S1} está compuesta por 199 aminoácidos con una masa molecular de 23.619 g/mol, tiene las cadenas laterales de ocho residuos de serina fosforilada y no contiene cistina. La estructura espacial que se predice está formada en el extremo carboxi terminal (secuencia 100-199) por un dominio hidrofóbico compuesto mayoritariamente por hoja beta y en el dominio amino terminal (secuencia 1-99) por un dominio hidrofílico. Ambos están unidos entre sí por un segmento de α -hélice. La región del fosfopéptido se encuentra en la porción 40-80 y es, por sus 7 restos de fosfoserina y por sus 12 cadenas carboxílicas laterales, una región muy ácida (Santos, 2007).

2.2.2.3 α_{S2} -Caseína

La cadena peptídica de la caseína α_{S2} contiene 207 aminoácidos y tiene una masa molecular de 25.230 g/mol. Las posiciones fosforiladas se encuentran en tres regiones de la secuencia: 7-31, 55-66, 129-143. La α_{S2} -caseína contiene, al contrario que la α_{S1} -caseína, dos moléculas de cistina (posiciones 36 y 40) (Santos, 2007).

2.2.2.4 β -Caseína

La β -caseína se encuentra en las micelas casi en las mismas proporciones que la α_{S1} -caseína y es la caseína más hidrófoba, contiene menos fósforo (0.6%), pero más prolina que la α_S -caseína y tampoco se encuentra cistina ni carbohidratos en su estructura. Su cadena polipeptídica está conformada por 209 aminoácidos y la masa molecular es de 23.983 g/mol. La cadena peptídica contiene 5 fosfoserinas que aparecen en la porción amino terminal 1-35 (Santos, 2007).

2.2.2.5 κ -Caseína

Es una proteína pobre en fósforo (0.22%), su contenido de serina (6.09%) y treonina (6.64%) es elevado y es muy notable la presencia de cistina (2.80%); tiene un peso molecular de 20,000 g/mol y su cadena polipeptídica está constituida por 169 aminoácidos. La escisión enzimática de la cadena peptídica se encuentra entre la Phe-105 y la Met-106 y da lugar a la liberación de la secuencia hidrófoba 1-105, la así llamada para- κ -caseína, y el caseinomacropéptido (106-169), el cual aparece como formas muy hidrófilas, glicomacropéptido y también en forma no glicosilada hidrófoba (Santos, 2007).

La escisión con quimosina libera al caseinomacropéptido de la estructura de la κ -caseína glicosilada. Este fenómeno conduce en la leche a la precipitación (cuajado) del resto de las caseínas. A esta escisión proteolítica específica en la primera fase del cuajado de la leche le sigue una segunda fase en la que las caseínas se degradan hasta péptidos y aminoácidos por reacciones proteolíticas. Esta proteólisis inespecífica es importante en la maduración del queso (Santos, 2007).

Durante el cuajado de la leche catalizado por quimosina, el calcio participa en el entrecruzado de las caseínas precipitadas lo que produce la gelificación. La velocidad del cuajado así como la sinéresis del gel dependen del contenido en iones calcio de la leche. Mediante la adición de cloruro cálcico a la leche de

quesería se puede por lo tanto acelerar la coagulación de la leche. Por lo tanto, el suero resultante de la elaboración de queso por cuajado enzimático es pobre en calcio, contrario a la coagulación ácida donde se sustituyen los iones calcio de las caseínas (las micelas de caseína) por iones hidronio (agua protonada) y el suero es rico en calcio (Santos, 2007).

2.2.3 Proteínas del lactosuero (proteínas solubles)

De acuerdo con Varnam y Sultherland (1994) y Schilmme y Bucherim (2002) las proteínas del lactosuero constituyen el 20% y comprenden al conjunto de sustancias nitrogenadas que no floculan cuando el pH de la leche se lleva a 4.6; por lo mismo también se les llama proteínas solubles. Las principales proteínas que constituyen al lactosuero son:

- β -lactoglobulina
- α -lactoalbúmina
- Inmunoglobulina
- Seroalbúmina
- Proteosa – peptona
- Proteínas menores

2.2.3.1 β -lactoglobulina

Esta es la proteína principal del lactosuero y constituye alrededor del 50% del total de las proteínas solubles. A temperatura ambiente, esta proteína no se liga a otra fracción proteica; por el contrario, con el calentamiento forma un complejo con la κ -caseína. Es la portadora principal del grupo sulfidrido, que se separa fácilmente con la desnaturalización y que interviene en el sabor a cocido en la leche hervida.

2.2.3.2 α -lactoalbúmina

Esta proteína constituye alrededor del 20% del total de las proteínas del lactosuero, se caracteriza por su alto contenido de triptófano (7.2%) y por su intervención en la biosíntesis de la lactosa.

2.2.3.3 Inmunoglobulina

Son las moléculas más grandes que se encuentran en la leche y las primeras que se desnaturalizan con el calentamiento de la leche. La leche de vacas sanas la contienen en poca cantidad (0.6 g/L, o sea, 2% de proteínas totales) y el calostro contiene hasta 12 g/L en el primer día después del parto. En esta proteína se ha detectado la presencia de aglutininas, que aglutinan a ciertas bacterias; de esta manera, desempeñan un papel importante como sustancias inhibitoras del desarrollo microbiano en la leche cruda. Constituye el 10% del total de las proteínas solubles de la leche.

2.2.3.4 Seroalbúmina

Esta fracción, al parecer, es idéntica a la albumina del suero sanguíneo ya que tiene las mismas propiedades inmunológicas. Constituye el 5% del total de las proteínas solubles de la leche.

2.2.3.5 Proteosa – peptona

Representan aproximadamente el 10% de las proteínas solubles, es la única que contiene carbohidratos y hasta un 6% de fósforo.

2.2.3.6 Proteínas menores

En este grupo se incluyen aquellas proteínas del lactosuero que son difíciles de identificar; entre ellas está la transferrina o proteínas rojas, las lactolinas y las proteínas de la membrana del glóbulo de grasa. Éstas representan aproximadamente el 5% de las proteínas del lactosuero.

2.2.4 Minerales

La leche también contiene minerales y ácidos orgánicos en solución verdadera. En el Cuadro 2 se puede observar la cantidad de minerales y ácido cítrico en la leche de diferentes especies (Santos, 2007).

Cuadro 2. Composición mineral y contenido de ácido cítrico en leche de distintas especies.

Componente, g/L	Vaca	Cabra	Oveja	Cerda	Mujer
Potasio	1.6	1.6	1.5	1.0	0.5
Sodio	0.50	0.40	0.40	0.35	0.16
Calcio	1.3	1.3	2.3	2.1	0.3
Magnesio	0.14	0.15	-	0.20	0.05
Fósforo	1.0	1.0	1.6	1.5	0.15
Cloro	1.1	1.5	0.7	-	0.5
Azufre	0.30	0.20	-	-	0.15
Ácido cítrico	1.8	1.5	-	-	0.8

Fuente: Santos (2007)

2.2.5 Glóbulo de grasa

De acuerdo con Santos (2007) la grasa de la leche forma una emulsión de pequeños glóbulos esféricos o ligeramente ovalados, cuyo diámetro varía entre 2 a 10 nanómetros según la raza de la vaca de la cual proceda la leche. Los glóbulos de grasa están rodeados de una película lipoproteica llamada “membrana” misma posee dos fracciones proteicas, una del tipo de las glicoproteínas (proteína de la fracción proteosa-peptona y contiene alrededor de 6% de carbohidratos) y que son solubles en agua y otra insoluble. Los componentes de la membrana están dispuestos en varias capas, de tal manera que los grupos hidrofílicos están orientados hacia una fase acuosa y los hidrofóbicos, hacia la fase lípida. King propuso una estructura hipotética (Figura 3), donde la capa exterior es de naturaleza proteica (cargada negativamente) y la interna es de naturaleza glicérida, entre ambas capas se encuentra una tercera, constituida por proteínas y fosfolípidos.

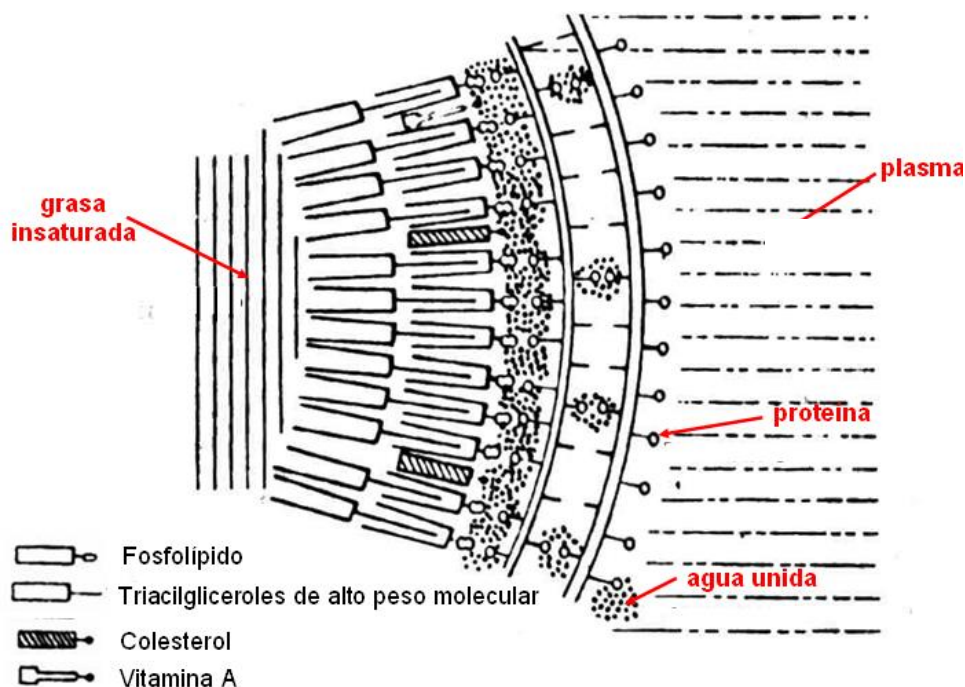


Figura 3. Modelo de glóbulo de grasa (King)

La grasa butírica es rica en lípidos, vitaminas liposolubles A, D, E y K, con un alto contenido en colesterol (66 mg/100g). La estabilidad de la emulsión se rompe con el batido, la congelación o la acción de agentes químicos (ácidos, detergentes, etc.), y es aumentada por la homogeneización que reduce el tamaño de los glóbulos a 2 micras o menos de diámetro (Angulo *et al.*, 2009).

2.3 El queso

La Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010 define los quesos como “productos elaborados de la cuajada de leche estandarizada y pasteurizada de vaca o de otras especies animales, con o sin adición de crema, obtenida de la coagulación de la caseína con cuajo, gérmenes lácticos, enzimas apropiadas, ácidos orgánicos comestibles y con o sin tratamiento ulterior, por calentamiento, drenada, prensada o no, con o sin adición de fermentos de maduración, mohos especiales, sales fundentes e ingredientes comestibles opcionales, dando lugar a las diferentes variedades de quesos: fresco, madurado o procesado”.

2.4 Composición del queso (características fisicoquímicas)

Los componentes de la leche intervienen en las propiedades tecnológicas de ésta y la fracción proteica juega un papel importante por su diversidad, complejidad, concentración y proporción. El contenido y las propiedades de las caseínas determinan la producción de queso, porque forman la consistencia del queso (Molina *et al.*, 2003; Braunschweig *et al.*, 2000; Plowman y Creamer, 1995; Swaisgood, 1993). La formación del queso es principalmente gobernada por la β -caseína y la κ -caseína, mientras las otras dos caseínas determinan la habilidad de las micelas para transportar CaPO_4 coloidal (Vaiman, 1999). Un incremento en la proporción de las caseínas como α_{s1} -caseína, β -caseína y κ -caseína aumenta la producción de queso (Bobe *et al.*, 1999).

De acuerdo con Wedholm *et al.* (2006) y Joudo *et al.* (2008) las proteínas (α_{s1} -caseína, α_{s2} -caseína, β -caseína y κ -caseína) tienen una función importante en la composición de la leche y guardan una estrecha relación con las propiedades de coagulación en la elaboración de quesos. Dentro de las caseínas, la κ -caseína tiene un importante papel en el rendimiento quesero debido a su participación en la estabilización de la formación de micelas previniendo la precipitación de las caseínas de la leche, ya que la κ -caseína contiene en su extremo carboxil terminal oligosacáridos (galactosa y glucosa) que aumentan la hidrofiliidad de la proteína favoreciendo la formación de micelas.

2.5 Rendimiento quesero

El rendimiento quesero o el rendimiento de la transformación de la leche en queso es la expresión matemática de la cantidad de queso obtenida a partir de una determinada cantidad de leche (generalmente 100 L o 100 kg) (Alzuagaray *et al.*, 2010). Otras formas de expresión pueden también ser empleadas para expresar este concepto: Litros empleados para fabricar un queso o bien 1 kg de queso.

2.6 Factores que afectan el rendimiento en los quesos

2.6.1 Variación en los componentes químicos de la leche

Leches con mayor contenido de sólidos tendrán un mejor rendimiento quesero. La producción de la leche de vaca puede tener diversas variaciones, debido a la influencia de factores ligados al animal, como factores genéticos, fisiológicos, sanitarios y ambientales como la alimentación, el ordeño, el clima y la época de parto (Casado y García, 1985).

2.6.1.1 Variación en la composición de la leche en relación con la raza

La raza de la vaca es un factor muy importante en cuanto la producción y composición de la leche. El rendimiento y la composición de la leche en una raza con respecto a la otra pueden variar considerablemente. En el Cuadro 3 se presenta la composición de la leche de las razas productoras más comunes; se observa que la grasa es el componente menos constante y la lactosa es el más estable. Las razas Jersey y Guernsey se consideran razas para producción de mantequilla por su alto contenido de grasa (Santos, 2007).

Cuadro 3. Variación en la composición de la leche en relación con la raza.

Raza de vaca	Agua (%)	Lactosa (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)
Jersey	85.09	4.93	5.37	3.92	0.71
Guernsey	85.39	4.93	4.95	3.91	0.74
Pardo Suizo	86.59	5.04	4.01	3.61	0.73
Ayrshire	87.10	4.67	4.00	3.58	0.68
Shorthorn	87.19	4.99	3.94	3.32	0.70
Holstein	87.74	4.87	3.4	3.32	0.68

Fuente: Santos (2007).

La raza que produce leche con el mayor contenido de grasa es la Jersey, en cuanto a la proporción de proteína total y tipo de proteína producida en la leche. Las razas Jersey y Guernsey presentan los mayores porcentajes de proteína total, grasa y lactosa en comparación con vacas Holstein Friesian (Cuadro 3). A través de selección genética se incrementa el porcentaje de proteína en la leche, pero la selección individual de algún componente tiene consecuencias negativas

sobre la producción de leche, por lo que se selecciona conjuntamente por proteína, grasa y producción de leche (Morales, 1999; De Peters y Ferguson, 1992; Requena *et al.*, 2007).

La composición química de la leche, principalmente en la fabricación de queso, está influenciada por las características genéticas de las vacas (Benavides, 2003). La detección del polimorfismo genético de las proteínas lácteas, principalmente la κ -caseína, ofrece nuevas explicaciones del comportamiento químico e la leche, puesto que las variantes genéticas tienen efectos directos sobre la composición y las propiedades tecnológicas de la leche (Puhan y Jakob, 1993; Caroli *et al.*, 2009).

2.6.1.2 Variación en la composición de la leche en relación con la estación del año

La producción de leche en regiones tropicales está directamente relacionada con la época del año; la producción baja drásticamente durante la época de secas y mejora considerablemente en la época de lluvias (Martínez y Lascano, 1998). La composición de la leche de ambas épocas de producción es muy diferente. Si se analiza el Cuadro 4, puede observarse, que la riqueza de la leche en contenido de grasa y sólidos totales es mínima durante las lluvias (Junio, julio y agosto), y máxima al final del ciclo de secas (Febrero, Marzo y Abril) (Alais, 1984; Santos, 2007).

Cuadro 4. Influencia de la época del año en la composición de la leche.

Mes	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Cenizas (%)	Sólidos totales (%)
Enero	4.31	3.67	4.87	0.72	13.57
Febrero	4.22	3.62	4.89	0.72	13.45
Marzo	4.16	3.56	4.98	0.71	13.41
Abril	4.10	3.54	5.01	0.71	13.37
Mayo	4.10	3.53	5.04	0.71	13.37
Junio	3.96	3.45	5.02	0.70	13.13
Julio	3.95	3.46	5.02	0.70	13.12
Agosto	3.95	3.54	5.00	0.69	13.18
Septiembre	4.10	3.62	4.96	0.70	13.38
Octubre	4.24	3.66	4.92	0.71	13.53
Noviembre	4.27	3.69	4.88	0.72	13.55
Diciembre	4.3	3.65	4.92	0.72	13.59

Fuente: Santos, 2007.

2.6.1.3 Variación en la composición de la leche en relación a la etapa de la lactancia y el número de partos

La producción de leche aumenta con la edad del animal; sin embargo, el contenido de proteína disminuye. El efecto del número de partos es mayor sobre la producción de leche que sobre su composición, así mismo, el máximo volumen de producción se alcanza entre el tercero y quinto parto (Casado y García, 1985). El contenido de caseína en la leche disminuye con el número de partos, aunque el contenido total de proteína cruda puede no cambiar debido al aumento de las proteínas del suero. Por lo general, se considera que el contenido de proteína total y de caseína es más alto para una vaca en su primera lactación (De Peters y Ferguson, 1992), mientras que la gestación afecta la composición de la leche en forma indirecta por acelerar el fin de la lactancia (Casado y García, 1985; Covington, 1993).

Después del periodo calostroal, la secreción de la leche aumenta durante el primer mes; después se mantiene constante durante los dos meses siguientes, para disminuir progresivamente más tarde hasta el final del periodo de lactancia, que dura unos diez meses (Figura 4, curva B) (Veisseyre, 1988). Algunas vacas

mantienen uniformemente su producción durante la lactancia (Figura 4, curva A); esta última es la más importante desde el punto de vista económico (Santos, 2007).

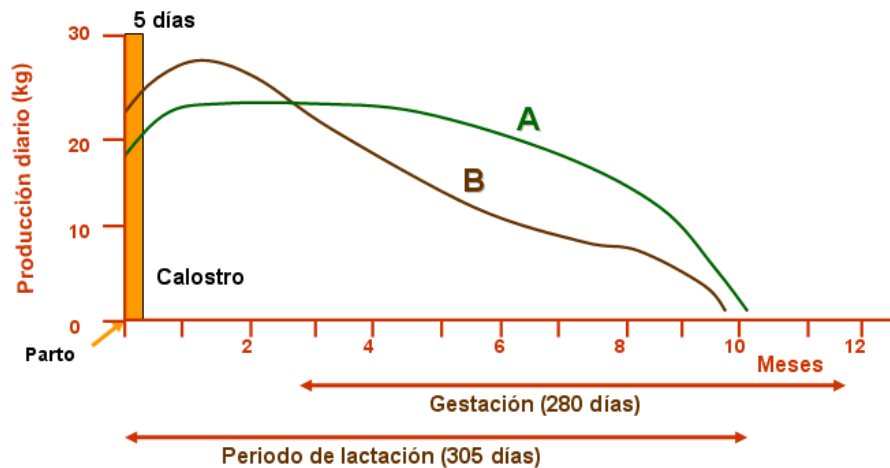


Figura 4. Variación de la producción de leche durante la lactancia (Santos, 2007).

Durante la lactancia la concentración de grasa y proteína en la leche evolucionan en sentido inverso a la lactosa (Casado y García, 1985). Las concentraciones de grasa y proteína son máximas al inicio de la lactancia y mínimas durante el segundo y tercer mes de lactancia, para luego aumentar hasta el final de ésta. Por otra parte, la curva de la lactosa sigue la misma tendencia que la curva de producción de leche, la cual aumenta en forma paulatina hasta el segundo mes de lactancia, luego se mantiene constante y disminuye progresivamente hasta el final de la lactancia (Alais, 1984; Casado y García, 1985; Lawrence, 1991; Latrille, 1993).

En relación con la variación de los componentes principales de la leche, se observa en la Figura 5 un aumento del extracto seco de la leche debido al aumento de la grasa y de las materias nitrogenadas (Veisseyre, 1988).

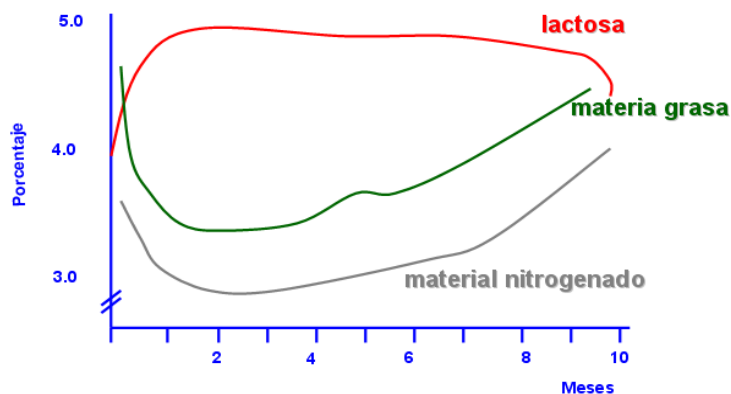


Figura 5. Evolución de la composición de la leche durante la lactancia (Santos, 2007).

2.6.1.4 Variación del contenido de sólidos de la leche por medio de la alimentación

Una alimentación apropiada en el ganado es esencial para obtener la máxima producción de leche, las típicas dietas formuladas para ganado de alta producción lechera contienen elevadas concentraciones de carbohidratos fácilmente fermentables, más que de grasas y a menudo dichas dietas provocan una condición denominada síndrome de baja materia grasa de la leche. Este síndrome deriva de una alteración en el proceso fermentativo a nivel ruminal con un cambio en el pH del rumen, como consecuencia una depresión en la digestión de la fibra y por ende un cambio en los productos de fermentación ruminal, disminuyendo el sustrato disponible para la síntesis de grasa a nivel de la glándula mamaria (Morales, 1999; Requena *et al.*, 2007).

La alimentación es fundamental en el contenido graso de la leche. Dietas que consideran un alto suministro de concentrado implican que el contenido de grasa de la leche disminuye. Por el contrario, dietas ricas en forraje permiten obtener leche con un mayor contenido de grasa (Hazard, 1997).

En un experimento de Sutton *et al.* (1977) en el cual las vacas de primer parto recibieron tres proporciones de concentrado:heno (60:40, 75:25, 90:10) se observó que el contenido de grasa en leche fue máximo cuando la relación forraje:concentrado fue 60:40 y decreció linealmente a medida que se incrementó

el concentrado en la ración. Raciones con alto contenido de proteína cruda y con una adecuada cantidad de fibra (forrajes) han demostrado un incremento en la grasa láctea (Zimmerman *et al.*, 1991).

La calidad de la fibra (forraje) tiene influencia sobre la producción y el contenido de grasa de la leche. Recientes experiencias han demostrado que estos dos valores varían de manera inversa, según la naturaleza del pasto. La leche es más rica en grasa cuando las vacas han consumido hierba a base de dátilo (*Dactylis glomerata*) y alfalfa (*Medicago sativa*); un efecto contrario se observa con otros pastos (Ray grass -*Lolium Perenne*-, festuca -*Festuca arundinacea*- y trébol blanco -*Trifolium repens*) (Alais, 1984).

Las modificaciones logradas en el porcentaje de proteína láctea mediante cambios en la alimentación son muy inferiores a los obtenidos en la grasa y generalmente fluctúan entre 0.1 y 0.3 unidades porcentuales. Esto se debe a que el proceso de síntesis proteica está muy relacionado con el código genético e implica que si falta un aminoácido específico, el proceso se detiene. Los dos aminoácidos más limitantes son lisina y metionina, seguidos por treonina, valina e isoleucina (Manterola, 2007).

Debido a que el mayor aporte de aminoácidos proviene de la síntesis proteica microbiana en rumen, los esfuerzos deben orientarse a potenciar al máximo ese proceso, y apoyarlo con fuentes proteicas sobrepasantes sólo cuando los niveles de producción lo ameriten o cuando la ración sea deficiente en ciertos aminoácidos esenciales. Esto aseguraría la llegada de suficiente cantidad de aminoácidos a la glándula mamaria para una adecuada síntesis proteica (Manterola, 2007).

Por otra parte hay que tener en cuenta que el rumiante utiliza diversos aminoácidos para sintetizar glucosa, fundamental para la síntesis de lactosa. En la medida en que el rumiante disponga de fuentes de glucosa, ya sea a partir del propionato o de almidones sobre pasantes, no utilizará aminoácidos para este fin y los derivará a síntesis proteica (Manterola, 2007).

2.7 Literatura citada

- AIPL (Animal Improvement Programs Laboratory). 2006. Genetic and phenotypic trend. <http://aipl.arsusda.gov/eval/summary/trend.cfm>. Consultada el 15 de octubre de 2013.
- Alais, Ch. 1984. Ciencia de la leche, principios de técnica lechera. Décima reimpresión. Continental. México. pp: 350-354.
- Alzuagaray M., M. Pena., y C. Micheo. 2010. Evaluación del rendimiento en quesos de pasta blanda elaborados a partir de leche con diferente tenor graso. Facultad de Ciencias Veterinarias. UNCPVA. 112 p.
- Amiot, J. 1991. Ciencia y Tecnología de la Leche. Principios y Aplicaciones. Editorial Acribia, Zaragoza España. 547 p.
- Angulo A., L. Mahecha., y M. Olivera. 2009. Síntesis, composición y modificación de la grasa de la leche bovina: Un nutriente valioso para la salud humana. Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Córdoba 14(3):1856-1866.
- Bylund, G. 1995. "The Chemistry of Milk". Dairy Processing Handbook. Tetra Pak Processing Systems AB, Lund, Suecia. 440 p.
- Braunschweig M., C. Hagger., G. Stranzinger., and Z. Puhán. 2000. Associations between casein haplotypes and milk production traits of Swiss Brown cattle. Journal of Dairy Science 76: 1387-1395.
- Benavides C., T. A. 2003. Efecto de las Variantes Genéticas A y B de κ - Caseína y β -lactoglobulina sobre las propiedades de coagulación de la leche. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Chile. Valdivia Chile 75 p.
- Bobe G., D. Beitz C., A. Freeman E., and G. Lindberg L. 1999. Effect of milk protein genotypes on milk protein composition and its genetic parameter estimates. Journal of Dairy Science 82(12): 2797-2804.
- Cabrera, E. N. 2005. Evaluación de la calidad higiénica, composicional y sanitaria de la leche cruda en Colombia conforme con el acuerdo de competitividad de la cadena láctea. Tesis de grado. Universidad de la Salle. Colombia. 44-50 pp.
- Caraviello D., Z., A. Weigel K., E. Shook G., and L. Ruegg P. 2005. Assessment of the impact of somatic cell count on functional longevity in Holstein and Jersey cattle using survival analysis methodology. Journal of Dairy Science 88(2): 8704-811.
- Caroli A., M., S. Chessa, y J. Erhardt G. 2009. Invited review: milk protein polymorphisms in cattle: Effect on animal breeding and human nutrition. Journal of Dairy Science 92(11): 5335–5352.

- Casado P., y J. García. 1985. La calidad de leche y los factores que la influyen. *Industrias Lácteas Españolas* 81: 298.
- Castañeda E., y J. Guerrero M. 1999. Caracterización de la leche fresca en el departamento de Boyacá. Provincia de Sugamuxi. Química de alimentos. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Ciencias Químicas. Colombia. 158 p.
- Ceballos, P. 1994. Efectos de los micronutrientes en la mastitis y calidad de la leche en bovinos lecheros. En: *Proceedings of the Panamerican Congress on Mastitis Control on Milk Quality*. México. pp: 340-434.
- Covington, C. 1993. Genetic and environmental factors affecting milk composition and their relationship to cheese yield. In: *Cheese yield and factors affecting its control*. International Dairy Federation: Proceedings of the IDF Seminar held in Cork. Irlanda. pp: 76-84.
- De Peters, E., y J. Ferguson. 1992. Non protein nitrogen and protein distribution in the milk of cows. *Journal of Dairy Science* 75(11):3192-3209.
- Ferrandini E., M. Castillo, B. López M., and J. Laencina. 2006. Structural models for the casein micelle. *Anales Veterinary* 22: 5-18.
- Fox P., F., and H. L. McSweeney P. 1998. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. London: Blackie Academic & Professional. 478 p.
- Fries R., and A. Ruvinsky. 1999. *The Genetics of Cattle*. CAB International. UK. pp. 511-534.
- Hazard T., S. 1997. Variación de la composición de la leche. Serie Carillanca N° 62. In: *Curso taller Calidad de Leche e Interpretación de Resultados de Laboratorio*. Temuco, Chile. pp: 33- 44.
- Inda C., A. 2000. Optimización del rendimiento y aseguramiento de inocuidad en la industria de la quesería. Organización de los Estados Americanos (OEA). Saltillo, Coahuila, México. 117 p.
- Joudo I., M. Henno, T. Kaart, T. Pussa, and O. Kart. 2008. The effect of milk protein contents on the rennet coagulation properties of milk from individual dairy cows. *International Dairy Journal* 18: 964–967.
- Lagrange W., S. 1979. Opportunities to improve milk quality. *Food Protection*. 42(7): 599-603.
- Latrille, L. 1993. El valor nutritivo de la leche bovina y factores que alteran su composición. *Producción Animal*. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. Valdivia. Chile. pp: 27-56.

- Lawrence R., C. 1991. Cheese yield potential of milk. Factors affecting the yield of cheese. International Dairy Federation: Proceedings of the IDF Seminar held in Palmerston North. New Zealand. pp: 109-120.
- Manterola, H. 2007. Manejo nutricional y composición de la leche. El desafío de incrementar los sólidos totales en la leche. Una necesidad de corto plazo. Circular de extensión pecuaria N° 33. Universidad de Chile. 17 p.
- Martínez H., y C. Lascano. 1998. Efecto en producción de leche de vacas en pastoreo y suplementadas con *Cratylia argentea* y caña de azúcar; TROPILECHE-CIAT; Hoja informativa. Colombia. 5: 1-2.
- Marth, E. 1981. Assuring the quality of milk. Journal of Dairy Science 64: 1017-1022.
- Molina L., H., M. Casanova, A. González L., M. Pinto, E. Carrasco, and C. Brito. 2003. Identification of the genetic variants of κ -casein in milk by isoelectric focusing electrophoresis. International Journal of Dairy Technology 56(4): 211-214.
- Morales S., M. S. 1999. Factores que afectan la composición de la leche. Revista de extensión tecnovet. Facultad de ciencias veterinarias y pecuarias. Universidad de Chile. <http://www.tecnovet.uchile.cl/index.php/RT/article/view/5224/5104>. Consultado el 13 de noviembre de 2013.
- NMX-F-700-COFOCALEC-2004. Sistema producto leche – Alimentos – Lácteos – Leche cruda de vaca – Especificaciones fisicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba. México.
- Pérez G., J., y P. J. Pérez G. 1984. Bioquímica y microbiología de la leche. Limusa. México. 202 p.
- Ponce C., P. 1999. "Mejora de la Calidad de la Leche: Un Factor Estratégico en la Capacidad Competitiva del Sector Lechero". CENLAC, CENSA. La Habana, Cuba. 18 p.
- Plowman J., E., and K. Creamer L. 1995. Restrained molecular dynamics study of the interaction between bovine-casein peptide 98-111 and bovine chymosin and porcine pepsin. Journal Dairy Research 62:451–467.
- Puhan Z., y E. Jakob. 1993. Genetic variants of milk proteins and cheese yield. In: Cheese yield and factors affecting its control. International Dairy Federation: Proceedings of the IDF Seminar held in Cork. Ireland. pp. 111-122.
- Requena F., D., I. Agüera E., y F. Requena. 2007. Genética de la caseína de la leche en el bovino Frisón (Milk of casein of genetic in the Frison bovine). Revista Electrónica de Veterinaria. 8(1): 1695-7504.

- Revelli G., R., A. Sbodio O., y J. Tercero E. 2004. Parámetros físico-químicos en leche cruda de tambos que caracterizan la zona noroeste de Santa Fe y sur de Santiago del Estero. *Revista Argentina de Producción Animal* 24: 83-92.
- Ruegg, P. 2006. Lactación y ordeño de la vaca lechera. Instituto Babcock para la investigación y el desarrollo de la lechería internacional. <http://babcock.cals.wisc.edu/downloads/de/lactation.es.pdf>. Consultado el 12 de noviembre de 2013.
- Sánchez, C. 1992. Recopilación de esquemas tecnológicos básicos de elaboración de quesos. Folleto del curso "Tecnología de procesamiento de leche, carne y cueros en ovinos y caprinos". ISBN980-318-0363. pp. 104-121.
- Santiago, E. 2004. Manual Técnico de control de calidad de la leche cruda. http://www.science.oas.org/OEA_GTZ/LIBROS/LA_LECHE/le_html/cap5_leche.htm. Consultado el 31 de Octubre de 2013.
- Santos, A. 2007. Leche y sus Derivados. Editorial Trillas. 2a. ed. México. pp. 27-33.
- Scott, R. 1991. Fabricación de Queso. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 488 p.
- Schilmme E., and W. Bucherim. 2002. La leche y sus Componentes: Propiedades Físicas y Químicas. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp: 1-5 y 33-40.
- Sutton, J. D., W. H. Broster, E. Schuller, T. Smith, and D. J. Napper. 1977. Log-term effect of level of intake and diet composition on the performance of lactating dairy cows. 3. Milk composition and rumen fermentation. *Proceeding of the Nutrition Society* 36(3): 147A.
- Swaigood H., E. 1993. Review and update of casein chemistry. *Journal of Dairy Science*. 76: 3054-3061.
- Vaiman, D. 1999. The Genetics of Cattle. In: Fries R., and A. Ruvinsky. 1999 (Eds). CAB International. 8: 403-406.
- Vargas, M. 2002. Buenas Prácticas Ganaderas. FAO/RLC, Santiago, Chile. www.rlc.fao.org/es/ganaderia/pdf/BPG.pdf. Consultada el 7 de Diciembre de 2013.
- Varnam H., y P. Sultherland. 1994. Leche y Productos Lácteos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 1-9.
- Veisseyre, R. 1988. Lactología Técnica. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 64-114.

- Wedholm A., B. Larsen L., H. Lindmark M., H. Karlsson A., and A. Andren. 2006. Effect of protein composition on the cheese making properties of milk from individual dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89: 3296-3305.
- Zimmerman C., A., H. Rakes A., D. Jaquette R., A. Hopkins B., y Jr. Croom J. 1991. Effects of protein level and forage source on milk production and composition in early lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science* 74: 980-990.

3. PRODUCCIÓN DE LECHE Y QUESO PANELA DE VACAS JERSEY Y SUS CRUZAS CON HOLSTEIN EN PASTOREO ORGÁNICO

3.1 Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar, a través de la lactancia, peso vivo de la vaca, producción, composición y rendimiento de leche para producción de Queso Panela de vacas Jersey ($n = 14$) y sus cruza con Holstein-Friesian ($n = 8$) en pastoreo tipo orgánico. El estudio se realizó durante la temporada de lluvias en los meses de agosto, septiembre y octubre de 2012, y la de secas en los meses de marzo, abril y mayo de 2013. Durante tres días, en las últimas dos semanas de cada mes de muestreo se midió la producción, composición de la leche y el rendimiento de ésta para producir Queso Panela. Las muestras de leche de vacas individuales se analizaron para grasa, proteína, lactosa, y sólidos no grasos. En cada ocasión de muestreo, una muestra (1000 ml) compuesta por igual volumen de leche am y pm, se utilizó para estimar el rendimiento de la leche para elaborar Queso Panela. En promedio, las vacas cruza de Holstein-Friesian con Jersey produjeron más leche (12.9 vs. 10.6 litros/vaca/día; $P < 0.05$), generaron un mayor ingreso estimado en su venta como leche fluida (83.6 vs. 69.1 pesos/vaca/día; $P < 0.0001$), su leche rindió menos para la elaboración de Queso Panela (246.5 vs. 280.8 g de Queso Panela/litro de leche; $P < 0.01$), y el peso vivo promedio fue superior por 111 kg que el de las vacas Jersey puras durante la lactancia (455.4 vs. 344.2 kg/vaca; $P < 0.0001$). La producción de Queso Panela (3.2 vs. 3.0 kg/vaca/día; $P = 0.5511$) y el ingreso estimado en su venta como Queso Panela (323.8 vs. 318.9 pesos/vaca/día; $P = 0.8608$) fue similar. Se concluye que el tamaño de las diferencias de producción diaria por vaca para los genotipos comparados tiene implicaciones cuando las comparaciones se hacen por unidad de área.

Palabras clave: Producción de leche, pastoreo, Jersey, Cruzas de Holstein-Frieasian×Jersey, composición de la leche, queso panela.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Mizael Jacob Paredes Espejel

Directores de Tesis: José Guadalupe García Muñiz Ph. D.

MILK AND PANELA CHEESE YIELD OF JERSEY AND JERSEY x HOLSTEIN-FRIESIAN CROSSBRED COWS ON AN ORGANIC-TYPE GRAZING SYSTEM

3.2 Abstract

The aim of the study was to evaluate, through the whole lactation, cow bodyweight, daily production, composition and yield of milk for Queso Panela production of Jersey cows ($n = 14$) and their crosses with Holstein-Friesian ($n = 8$) on an organic-type grazing system. The study was conducted during the rainy season in the months of August, September and October 2012, and the dry season in the months of March, April and May 2013. During three days, in the last two weeks of each month of sampling, milk production and composition, and yield of milk to produce Panela cheese was measured on individual cows. Milk samples from individual cows were analyzed for percentage of fat, protein, lactose, and solids non-fat. At each sampling occasion, a sample (1000 ml) composed of an equal volume of milk am and pm, was used to estimate the yield of milk to produce Panela cheese. On average, crossbred cows were over 111 kg heavier than Jersey cows during the course of lactation (455.4 vs. 344.2 kg/cow; $P < 0.0001$). Crossbred cows produced more milk (12.9 vs. 10.6 liters/cow/day; $P < 0.05$), showed higher estimated daily income when milk was priced for sale as fluid milk (83.6 vs. 69.1 Mexican pesos/cow/day, $P < 0.0001$), but their milk had lower yields when transformed into Panela cheese (246.5 vs. 280.8 g Panela Cheese/liter of milk; $P < 0.01$) than purebred Jersey cows. Queso Panela production (3.2 vs. 3.0 kg/cow/day, $P = 0.5511$) and the estimated income when milk was priced for sale as Panela cheese (323.8 vs. 318.9 Mexican pesos/cow/day; $P = 0.8608$) was similar for crossbred and purebred Jersey cows. We conclude that the size of the differences on daily milk, cheese and income production per cow for the genotypes compared, has implications when comparisons are made per unit area.

Key words: Milk yield, grazing, Jersey, Holstein-Friesian x Jersey, milk composition, Panela cheese

Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Mizael Jacob Paredes Espejel

Advisors: José Guadalupe García Muñiz Ph. D.

3.3 Introducción

La leche es un fluido biológico que se forma en la glándula mamaria de las hembras de los mamíferos y que contiene casi todos los nutrientes necesarios para la alimentación de los recién nacidos, lo que la hace un alimento completo (Ballester, 2005). Por esta razón, los diferentes componentes de la leche han sido objeto de numerosos estudios. 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). Tanto la industria láctea como el mercado han establecido nuevos sistemas de pago para la leche, basados en composición y especialmente en el contenido de sólidos totales, grasa y proteína. Esto ha estimulado la investigación sobre las causas que determinan el contenido de la leche y su rendimiento en los distintos subproductos (De Peters y Cant, 1992).

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 (Jenkins y McGuire, 2006). A nivel mundial, un sector importante de los productores de leche utiliza el cruzamiento entre razas lecheras con el fin de mejorar la eficiencia productiva, reproductiva y económica de sus hatos (McDowell *et al.* 1974; López-Villalobos *et al.* 2000; Madalena, 2001; Van Raden y Sanders, 2003). De acuerdo con Ochoa (1991), Delgado y Franco (2006), Echeverri *et al.* (2011), Magofke y González (2011) y Vargas *et al.* (2012) uno de los aspectos buscados en la mejora genética del ganado lechero es incrementar la calidad de la leche para elaborar productos de mayor calidad y valor nutritivo, por tal razón, estos estudios se han enfocado a la composición de la misma, específicamente al contenido de grasa y proteína.

Entre los criterios que se utilizan para la comparación de razas puras lecheras y sus cruza, están el rendimiento económico por vaca por año (Touchberry, 1992; López-Villalobos *et al.*, 2000) y por hectárea por año (López-Villalobos *et al.*,

2000). Los grupos genéticos que representan la mayor proporción de bovinos de leche especializados son la Holstein y la Jersey, siendo a su vez las de mayor producción y composición láctea, y son ellas hacia donde se ha enfocado el mejoramiento genético de los bovinos (AIPL, 2006 y Caraviello *et al.*, 2005).

Algunos estudios han presentado comparaciones bioeconómicas entre razas puras lecheras y sus cruzas (Touchberry, 1992, López-Villalobos *et al.*, 2000, Van Raden y Sanders, 2003 y Echeverri *et al.*, 2011). La comparación bioeconómica de grupos raciales debe considerar las condiciones ambientales específicas y los sistemas de pago vigentes (Kahi *et al.*, 1998). En un estudio de simulación realizado en Nueva Zelanda, López-Villalobos *et al.* (2000) concluyeron que las cruzas rotacionales Holstein×Jersey fueron más rentables que las respectivas razas puras en términos de ingreso neto anual por hectárea y por vaca. En otro estudio, Van Raden y Sanders (2003) reportaron que las cruzas Holstein×Jersey presentaron superioridad sobre las razas puras cuando los sistemas de pago fueron basados en componentes de leche con penalización para fluido, mientras que en sistemas de pago con valor económico positivo para fluido la raza Holstein presentó mayor ingreso.

Es importante comparar la rentabilidad de las cruzas Holstein×Jersey y el uso de razas puras; con el fin de determinar si la estrategia de cruzamiento es una alternativa favorable desde el punto de vista económico. Por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue evaluar la producción, calidad de la leche y el rendimiento en queso panela de vacas Jersey y sus cruzas con Holstein en pastoreo orgánico mediante un análisis bioeconómico.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Ubicación del estudio

El trabajo se llevó a cabo en el Módulo de Producción de Leche Orgánica de la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, 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, temperatura media anual de 15.2 °C, y precipitación media anual de 636.5 mm (García, 1987).

El área de pastoreo está constituida por 23 hectáreas de praderas, principalmente de alfalfa (*Medicago sativa*) y gramíneas de clima templado como pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), ballico anual (*Lolium multiflorum*) y ballico perenne (*L. perenne*), con suplementación de sales minerales y durante la temporada de invierno se ofrece ensilado de maíz directamente en la pradera.

En el Modulo de Producción de Leche Orgánica se realizan dos ordeños al día, a las 6:00 y 15:00 horas, mediante un sistema de ordeño mecánico en una sala de ordeño con fosa en espina de pescado 6×2 de salida rápida con barra trasera de contención recta. El equipo de ordeño es fijo con conducción de leche, tanque receptor, seis unidades de ordeño y medidores individuales.

3.4.2 Toma de muestras

En el estudio se usaron 14 vacas Jersey y 8 vacas cruzadas de Holstein×Jersey, durante las temporadas de lluvias (agosto, septiembre y octubre de 2012) y secas (marzo, abril y mayo de 2013), y se recolectaron muestras de leche de cada vaca durante las dos últimas semanas de cada mes por tres días consecutivos.

3.4.3 Análisis de la calidad de la leche

El análisis de la composición de la leche se realizó en el Laboratorio de Calidad de Leche del Posgrado de Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo, utilizando muestras individuales de 60 mililitros por vaca por ordeño. Los métodos de prueba para cada uno de los parámetros a determinar se enlistan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Pruebas fisicoquímicas y métodos de prueba.

Parámetro	Método de Prueba
Grasa Butírica, g/L	Milkoscan®-FT120-FOSS
Sólidos no grasos, g/L	Milkoscan®-FT120-FOSS
Punto Crioscópico, °C	Milkoscan®-FT120-FOSS
Densidad, g/MI	Milkoscan®-FT120-FOSS
Proteína, g/L	Milkoscan®-FT120-FOSS
Caseína ,g/L	Milkoscan®-FT120-FOSS
Lactosa, g/L	Milkoscan®-FT120-FOSS

Fuente: International Dairy Federation (1996).

El analizador MilkoScan FT120 (Foss Electric; Hillerød, DK-3400, Denmark) es un equipo que cuenta con una plataforma sólida para el análisis de leche líquida, que emplea la tecnología de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR), que a su vez evita que el operador tenga que manipular sustancias químicas. Las pruebas se realizan fácilmente y existe un riesgo muy bajo de que el operador pueda cometer algún error, se puede usar en el laboratorio y ofrece una buena repetibilidad y sensibilidad. La precisión y repetibilidad de los resultados son equiparables (o superiores) a las de los métodos químicos, pero sin los largos tiempos de prueba. El rendimiento del equipo cumple con las exigencias de la Association of Analytical Chemists (1990) y la International Dairy Federation (1996) reconocidas por sus siglas AOAC y IDF, respectivamente. Los resultados se guardan automáticamente en la PC para permitir su trazabilidad.

3.4.4 Elaboración de quesos y medición de rendimiento

Se tomaron muestras de 500 ml de la ordeña de la mañana y de la tarde, posteriormente se mezclaron ambas muestras (1 litro) y se elaboró queso panela (Apéndice 1). Una vez elaborados los quesos se pesaron para determinar el rendimiento quesero mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Rendimiento (\%)} = (\text{queso obtenido (kg)} / \text{leche utilizada (litros)}) * 100$$

3.4.5 Análisis estadístico.

3.4.5.1 Estadísticos descriptivos

El procedimiento MEANS (SAS, 2009) se utilizó para obtener los estadísticos descriptivos por genotipo de la vaca para las variables de calidad de la leche, variables fisicoquímicas, metabolitos en leche, la producción diaria de leche, el rendimiento de la leche para la elaboración de queso panela, la producción diaria de queso panela, así como el ingreso diario estimado por vaca cuando la producción fue vendida como leche o como queso panela.

3.4.5.2 Ajuste de modelos de regresión aleatoria

Todas las variables analizadas se modelaron como función del día de la lactancia, ajustando modelos de regresión aleatoria que variaron en el grado del polinomio fijo y el aleatorio. Se utilizó el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2009), y la combinación de identificación individual de la vaca con el número de parto se utilizó como sujeto en el análisis de varianza. El tipo de estructura de covarianza que se especificó en el análisis fue del tipo no estructurada.

3.4.5.3 Variables de producción e ingreso diario

Para las variables producción diaria de leche, rendimiento de la leche para la elaboración de queso panela, producción diaria de queso, así como el ingreso diario calculado por vaca cuando la producción se vendió como leche fluida o como queso panela, se utilizó el siguiente modelo lineal de regresión aleatoria, el cual proporcionó el mejor ajuste de los datos.

$$Y = \beta_{0i} + \beta_{1i}x_i + \alpha_{0ij} + \alpha_{1ij}x_{ij} + e_{ij}$$

Donde Y representa cada una de las variables de respuesta analizadas; β_{0i} , β_{1i} , x_i son respectivamente el intercepto, la pendiente y los días de lactancia de la regresión fija para el i -ésimo genotipo de la vaca (Jersey o Holstein×Jersey); α_{0ij} , α_{1ij} , e_{ij} y x_{ij} son los efectos aleatorios del intercepto, pendiente y error, y los días de lactancia de la regresión aleatoria de la j -ésima vaca ($j = 1, \dots, n$) anidada en

el *i*-ésimo genotipo. En el procedimiento MIXED se especificó el enunciado ESTIMATE para la interacción genotipo de la vaca con cada uno de los coeficientes de la regresión fija (i.e. Genotipo* β_0 y Genotipo* β_1). Con esto se probó la hipótesis nula de igualdad de los coeficientes de regresión a través de los genotipos.

3.4.5.4 Variables de composición de la leche

Las variables de composición de la leche como grasa (%), proteína (%) y lactosa (%) requirieron del ajuste de un modelo de regresión aleatoria de tercer grado en el polinomio fijo; de tercer grado para grasa (%) y segundo grado para proteína (%) y lactosa (%) en el polinomio aleatorio. El siguiente modelo de regresión aleatoria se ajustó para grasa (%), proteína (%) y lactosa (%) en leche, y sólo se excluyó el término cúbico del polinomio aleatorio:

$$Y = \beta_{0i} + \beta_{1i}x_i + \beta_{2i}x_i^2 + \beta_{3i}x_i^3 + \alpha_{0ij} + \alpha_{1ij}x_{ij} + \alpha_{2ij}x_{ij}^2 + \alpha_{3ij}x_{ij}^3 + e_{ij}$$

Donde Y representa cada una de las variables de composición de la leche analizadas; β_{0i} , β_{1i} , β_{2i} , β_{3i} , son el intercepto y los coeficientes de la regresión fija relacionados con el efecto lineal, cuadrático y cúbico del día de lactancia (X_i) en el día de muestreo para el *i*-ésimo genotipo de la vaca (Jersey o Holstein×Jersey). Del mismo modo, α_{0ij} , α_{1ij} , α_{2ij} , α_{3ij} , y e_{ij} representan los efectos aleatorios del intercepto y los coeficientes de regresión aleatoria relacionados con el efecto lineal, cuadrático y cúbico del día de lactancia (X_{ij}) en el día de muestreo, correspondiente a la *j*-ésima vaca ($j = 1, \dots, n$) anidado en el *i*-ésimo genotipo.

El enunciado ESTIMATE se especificó en el análisis de varianza para la interacción genotipo de la vaca con cada uno de los coeficientes de la regresión fija para probar la hipótesis nula de igualdad de los coeficientes de regresión a través de genotipos.

Modelo de regresión aleatoria para el peso vivo de la vaca

El peso vivo (kg) de la vaca en el día de prueba requirió del ajuste de un modelo de regresión aleatoria de cuarto orden en el polinomio fijo y de segundo orden en

el polinomio aleatorio. El siguiente modelo de regresión aleatoria se ajustó para esta variable.

$$Y = \beta_{0i} + \beta_{1i}x_i + \beta_{2i}x_i^2 + \beta_{3i}x_i^3 + \beta_{4i}x_i^4 + \alpha_{0ij} + \alpha_{1ij}x_{ij} + \alpha_{2ij}x_{ij}^2 + e_{ij}$$

El enunciado ESTIMATE se especificó en el análisis de varianza para la interacción genotipo de la vaca con cada uno de los coeficientes de la regresión fija para probar la hipótesis nula de igualdad de los coeficientes de regresión a través de genotipos.

3.5 Resultados y discusión

En el Cuadro 6 se presentan los estadísticos descriptivos para las variables de calidad de la leche, la producción diaria de leche, el rendimiento de la leche para la elaboración de queso panela, la producción diaria de queso panela, así como el ingreso diario estimado por vaca cuando la producción se vende como leche o como queso panela.

Cuadro 6. Estadísticos descriptivos para las variables de calidad de la leche: grasa (%), proteína (%), lactosa (%), producción diaria de leche (kg/vaca/día), rendimiento de leche a queso panela (g/litro), la producción diaria de queso (kg/vaca/día) y los ingresos diarios (\$/vaca/día), cuando la producción se vendió como leche o como queso, para vacas de los genotipos Jersey y Holstein×Jersey o Jersey pastoreando praderas mixtas de alfalfa y pasto ballico perenne en Chapingo, Estado de México.

Genotipo	Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Std.	CV(%)
Jersey ×Holstein	Grasa (%)	198	1.77	8.92	5.02	1.35	26.8
	Proteína (%)	204	2.62	5.38	3.79	0.50	13.3
	Lactosa (%)	200	3.56	5.14	4.48	0.34	7.6
	Producción de leche (kg/vaca/d)	204	8.00	17.50	13.00	2.00	15.5
	Rendimiento de la leche a queso (g/L)	204	179.50	293.50	248.90	23.50	9.5
	Producción de queso (kg/vaca/d)	204	1.69	4.79	3.23	0.61	18.9
	Ingreso por venta de leche (\$/vaca/d)	204	50.80	111.10	82.20	12.80	15.5
	Ingreso por venta de queso (\$/vaca/d)	204	169.20	478.80	323.00	61.10	18.9
Jersey	Grasa (%)	338	0.79	8.85	4.99	1.43	28.7
	Proteína (%)	345	2.40	5.63	3.79	0.51	13.5
	Lactosa (%)	337	3.59	5.17	4.62	0.26	5.7
	Producción de leche (kg/vaca/d)	345	4.10	16.00	9.90	3.10	31.2
	Rendimiento de la leche a queso (g/L)	343	195.50	350.70	296.00	32.30	10.9
	Producción de queso (kg/vaca/d)	345	1.16	5.39	2.910	0.94	32.3
	Ingreso por venta de leche (\$/vaca/d)	345	26.10	101.60	62.60	19.60	31.2
	Ingreso por venta de queso (\$/vaca/d)	345	116.00	538.90	290.90	94.00	32.3

En términos de producción de grasa (%), proteína (%) y lactosa (%) se reportó diferencia entre los genotipos ($P<0.05$), resaltando superioridad para el genotipo Jersey comparado con la cruce Holstein×Jersey. De igual manera, en un estudio realizado en la misma zona, se presentaron valores de $5.1\pm0.34\%$ y $4.4\pm0.15\%$ de grasa, $3.8\pm0.11\%$ y $3.4\pm0.05\%$ de proteína y $5.0\pm0.08\%$ y $4.8\pm0.04\%$ de lactosa en los genotipos Jersey y Holstein×Jersey, respectivamente (Hershberger, 2012). Otro estudio realizado al Norte de Antioquia en Colombia reportó la misma tendencia para grasa (4.53 y 3.89%) y proteína (3.73 y 3.41%) en los genotipos Jersey y Holstein×Jersey, respectivamente (Echeverri *et al.*,

2011). Tendencias similares fueron también reportadas por Vargas *et al.* (2012) en Costa Rica y por López-Villalobos *et al.* (2000) en Nueva Zelanda.

Respecto a las variables producción de leche, producción de queso e ingresos por venta de leche o queso, se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre ambos genotipos, presentando una mayor eficiencia lechera el genotipo Holstein×Jersey, con mayores ingresos por venta de leche y queso. López-Villalobos *et al.* (2000) reportaron un comportamiento similar en su estudio realizado en Nueva Zelanda, en el que utilizaron modelos determinísticos de simulación y concluyeron que las cruza rotacionales Holstein×Jersey fueron más rentables que las respectivas razas puras, en términos de ingreso neto anual por hectárea por vaca. Para la variable rendimiento de la leche en queso, la eficiencia quesera favoreció al genotipo Jersey con 47.1 g/litro (16%) más que el genotipo Holstein×Jersey, lo cual indica que los componentes de la leche de Jersey, además de ser mayores que los del genotipo Holstein×Jersey, tienen una mayor aptitud tecnológica para la producción de queso, como se indican en distintos estudios de variantes genéticas de las proteínas presentes en la leche de vacas Jersey, con un efecto sobresaliente sobre las propiedades del queso (Threadgill y Womack, 1990; Formaggioni *et al.*, 1999; Freyer *et al.*, 1999; Fox *et al.*, 2000; Gutiérrez y Pintado, 2000 y Corral *et al.*, 2006).

3.5.1 Ajuste de modelos de regresión aleatoria para variables de producción e ingreso diario

En el Cuadro 7 se presentan los coeficientes de regresión para la parte fija del modelo de regresión aleatoria de las variables producción diaria de leche, rendimiento de la leche para elaborar queso panela, producción diaria de queso, ingreso bruto cuando la producción diaria de cada vaca se vendió como leche o como queso panela. El Cuadro 7 también contiene los resultados de la prueba de la hipótesis nula de igualdad de los coeficientes de la regresión fija a través de genotipos. Asimismo, los diagramas de dispersión, las líneas de regresión aleatorias estimadas para cada vaca, así como las líneas de la regresión fija estimadas para cada nivel de genotipo de la vaca se presentan para la producción

diaria de leche (Figura 6), rendimiento de leche a queso panela, producción diaria de queso (Figura 7), y para el ingreso bruto por vaca cuando la producción diaria se vendió como leche o como queso panela (Figura 8).

Con excepción de la tendencia significativa decreciente mostrada por el genotipo Jersey ($b_1 = -18.4$; $P < 0.01$) para rendimiento de leche a queso panela, las pendientes para las demás variables no fue diferente de cero. Para las variables producción diaria de leche, rendimiento de leche a queso panela, e ingreso por venta de leche, los diagramas de dispersión y las líneas ajustadas para la regresión fija, y las regresiones aleatorias de cada vaca, muestran que el modelo de mejor ajuste fue el de líneas paralelas con diferente intercepto.

Comparadas con las vacas Jersey, las vacas Holstein×Jersey produjeron diariamente 2.3 litros más de leche ($P < 0.05$), 34.3 g menos de queso panela ($P < 0.001$) y \$14.5 más de ingreso bruto ($P < 0.05$), cuando la producción se vendió como leche fluida que como queso panela. La producción diaria de queso y el ingreso bruto por vaca por día, calculados cuando la producción se vendió como queso panela, fue similar para ambos genotipos.

Cuadro 7. Coeficientes de regresión (e.e.) para la regresión fija de la variable independiente día de lactancia con las variables dependientes producción diaria de leche (litros/vaca/día), rendimiento de la leche para elaborar queso panela (g de queso/litro de leche), producción diaria de queso panela (kg/vaca/día), ingreso (\$/vaca/día) cuando la producción se vende como leche o como queso panela, de vacas Jersey y cruza de Holstein con Jersey pastoreando praderas mixtas de alfalfa y pasto ballico perenne en Chapingo, Estado de México.

Variable	Genotipo	Coeficiente de regresión (e.e.) ¹		Prueba de igualdad de los coeficientes de regresión a través de genotipos (Pr > F)	
		b ₀	b ₁	b ₀	b ₁
Producción leche (L/vaca/d)	Holstein×Jersey	12.9(0.5)****	-0.267(0.44) ^{NS}	0.0150	0.9886
	Jersey	10.6(0.8)****	-0.275(0.34) ^{NS}		
Queso:leche (g/L de leche)	Holstein×Jersey	246.5(7.9)****	-3.29(4.3) ^{NS}	0.0043	0.0490
	Jersey	280.8(8.9)****	-18.4(6.3)**		
Producción queso (kg/vaca/d)	Holstein×Jersey	3.2(0.19)****	-0.055(0.079) ^{NS}	0.5511	0.3647
	Jersey	3.0(0.24)****	-0.187(0.121) ^{NS}		
Ingreso por leche (\$/vaca/d)	Holstein×Jersey	83.6(4.0)****	-0.011(0.019) ^{NS}	<0.0001	0.9886
	Jersey	69.1(5.2)****	-0.011(0.014) ^{NS}		
Ingreso por queso (\$/vaca/d)	Holstein×Jersey	323.8(17.2)****	-0.036(0.052) ^{NS}	0.8608	0.3647
	Jersey	318.9(22.6)****	-0.123(0.080) ^{NS}		

¹ NS = no significativo; * = $P \leq 0.05$; ** = $P \leq 0.01$; *** = $P \leq 0.001$; **** = $P \leq 0.0001$.

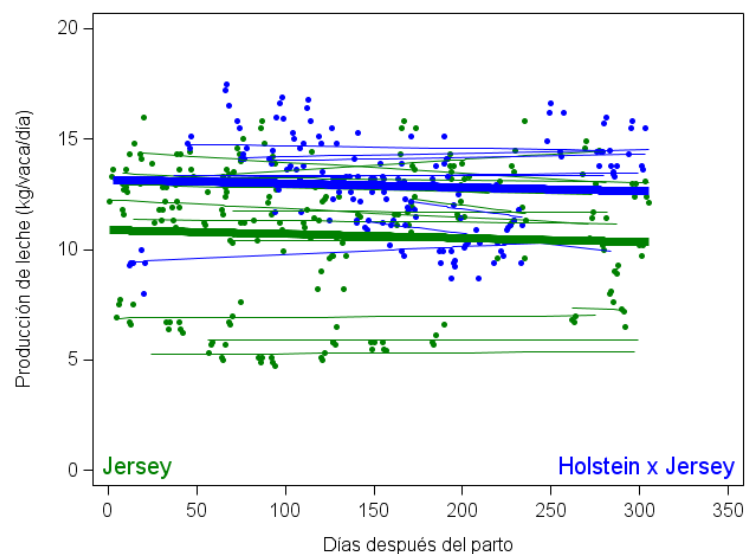


Figura 6. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas), de los genotipos Jersey (verde) y cruza de Holstein×Jersey (azul) para la producción diaria de leche en el día de muestreo.

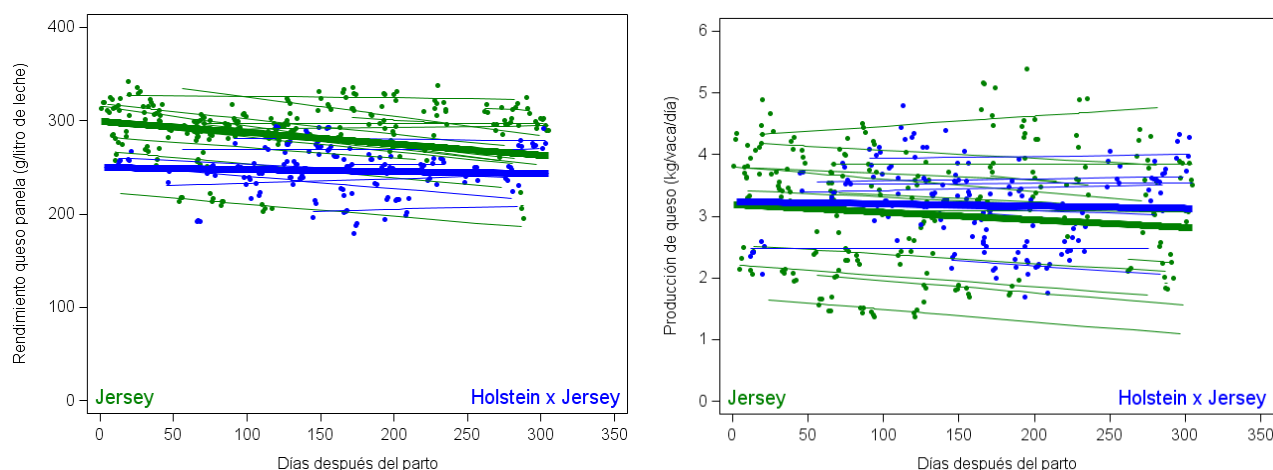


Figura 7. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas), de los genotipos Jersey (verde) y cruza de Holstein×Jersey (azul), para el rendimiento de la leche a queso panela (panel izquierdo) y para la producción diaria de queso panela (panel derecho) en el día de muestreo.

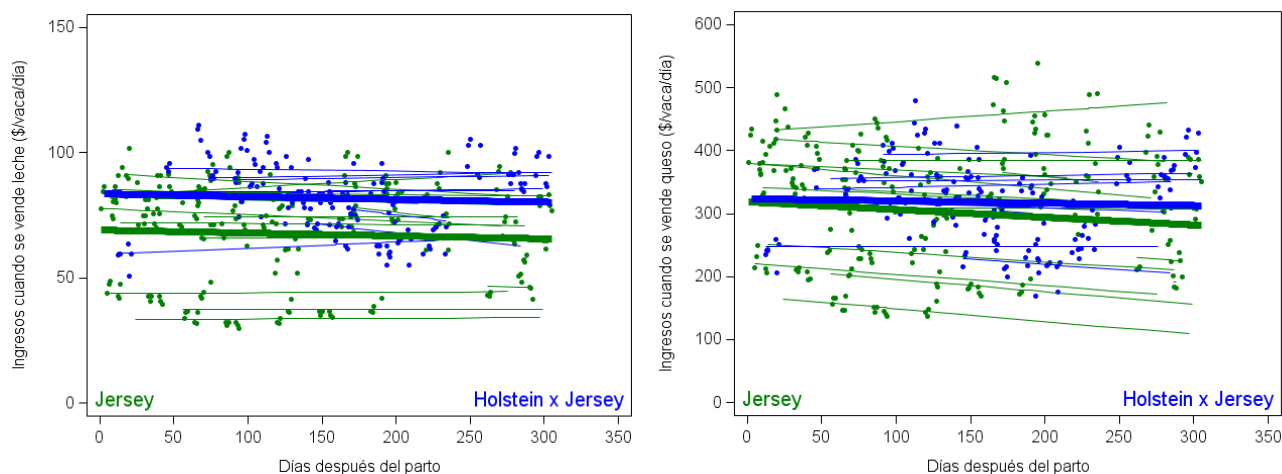


Figura 8. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas), de los genotipos Jersey (verde) y cruza de Holstein×Jersey (azul) para el ingreso bruto por vaca por día, cuando la producción diaria se vendió como leche (panel izquierdo) o como queso panela (panel derecho) en el día de muestreo.

3.5.2 Ajuste de modelos de regresión aleatoria para variables de composición de la leche y peso vivo de la vaca

En el Cuadro 8 se presentan los coeficientes de regresión para la parte fija del modelo de regresión aleatoria de las variables grasa (%), proteína (%), Lactosa (%) y peso vivo de la vaca (kg) en el día de muestreo. El Cuadro 8 también contiene los resultados de la prueba de la hipótesis nula de igualdad de los coeficientes de la regresión fija a través de genotipos.

Los diagramas de dispersión, las curvas descritas por las regresiones aleatorias estimadas para cada vaca, así como las líneas de la regresión fija estimadas para cada genotipo de los porcentajes de grasa, proteína, lactosa y peso vivo de la vaca, se presentan en las Figuras 9, 10, 11 y 12. Los genotipos comparados no mostraron diferencias en la composición de la leche al inicio de la lactancia. En promedio las vacas cruzadas de Holstein×Jersey iniciaron lactancia con 111 kg más ($P<0.0001$) que las vacas Jersey, y esa diferencia se mantuvo a lo largo de la lactancia (Figura 12), con un peso corporal adulto de 344.2 y 455.4 kg para los genotipos Jersey y Holstein×Jersey, respectivamente (Cuadro 8). En otro estudio

realizado en el Norte de Antioquia en Colombia, Echeverri *et al.* (2011) reportaron diferencia de 74 kg y peso corporal adulto de las vacas de 392 y 466 kg para Jersey y Holstein×Jersey, respectivamente. Estos últimos valores muestran una tendencia similar a las del presente estudio, aunque los animales fueron de talla más grande, lo cual puede deberse al origen genético de los individuos. Por otra parte, Holmes y Wilson (1989) indican que en sistemas de pastoreo de vacas, la carga animal regula el consumo y la calidad de la pastura, ya que cargas animal altas conllevan a un descenso en el consumo de forraje y, como consecuencia, a menor producción de leche y sus componentes.

Cuadro 8. Coeficientes de regresión (e.e.) para la regresión fija de la variable independiente día de lactancia con las variables dependientes grasa (%), proteína (%), lactosa (%) y peso vivo de la vaca (kg) de vacas Jersey y cruza de Holstein con Jersey pastor pastoreando praderas mixtas de alfalfa y pasto ballico perenne en Chapingo, Estado de México.

Variable	Genotipo	Coeficiente de regresión (e.e.) ¹					Prueba de igualdad de los coeficientes de regresión a través de genotipos (Pr > F)				
		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
Grasa (%)	Holstein x Jersey	4.83(0.16)****	0.275(0.33) ^{NS}	-0.436(0.38) ^{NS}	1.161(0.39)**	- - -	0.1051	0.6311	0.6591	0.0007	- - -
	Jersey	5.16(0.13)****	0.077(0.25) ^{NS}	-0.248(0.19) ^{NS}	-0.348(0.20) ^{NS}	- - -					
Proteína (%)	Holstein x Jersey	3.85(0.08)****	-0.248(0.17) ^{NS}	0.074(0.13) ^{NS}	0.339(0.12)**	- - -	0.5949	0.0913	0.2732	0.0003	- - -
	Jersey	3.78(0.09)****	0.123(0.14) ^{NS}	-0.133(0.13) ^{NS}	-0.420(0.17)*	- - -					
Lactosa (%)	Holstein x Jersey	4.51(0.03)****	-0.154(0.04)***	0.138(0.08) ^{NS}	-0.214(0.10)*	- - -	0.0661	0.2896	0.4669	0.0585	- - -
	Jersey	4.59(0.03)****	-0.085(0.05) ^{NS}	0.065(0.06) ^{NS}	0.018(0.07) ^{NS}	- - -					
Peso vivo (kg)	Holstein x Jersey	455.4(19.4)****	4.9(12.5) ^{NS}	31.4(10.1)**	-13.6(4.5)**	20.4(7.2)**	<.0001	0.6413	0.1297	0.8540	0.2040
	Jersey	344.2(12.5)****	11.9(8.3) ^{NS}	14.4(4.5)**	-12.4(4.7)**	9.2(4.9) ^{NS}					

¹ NS = no significativo; * = $P \leq 0.05$; ** = $P \leq 0.01$; *** = $P \leq 0.001$; **** = $P \leq 0.0001$; - - - = Término no ajustado en el modelo.

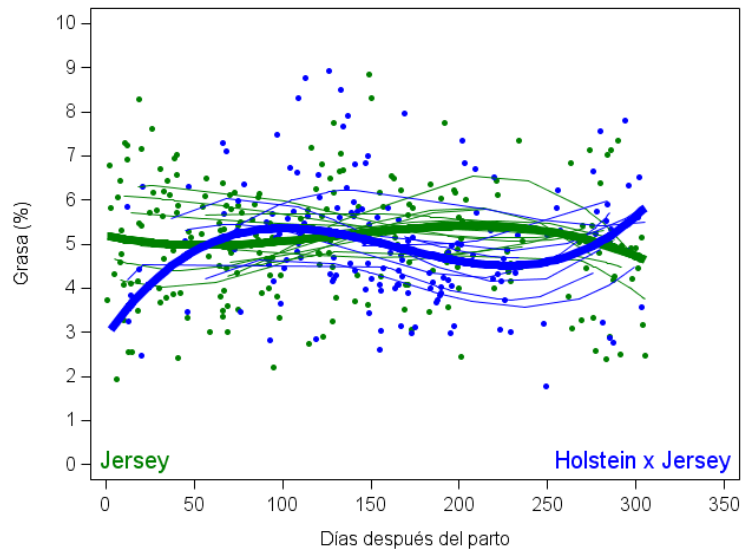


Figura 9. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas), de genotipos Jersey (verde) y Holstein×Jersey (azul) para el porcentaje de grasa en la leche en el día de lactancia.

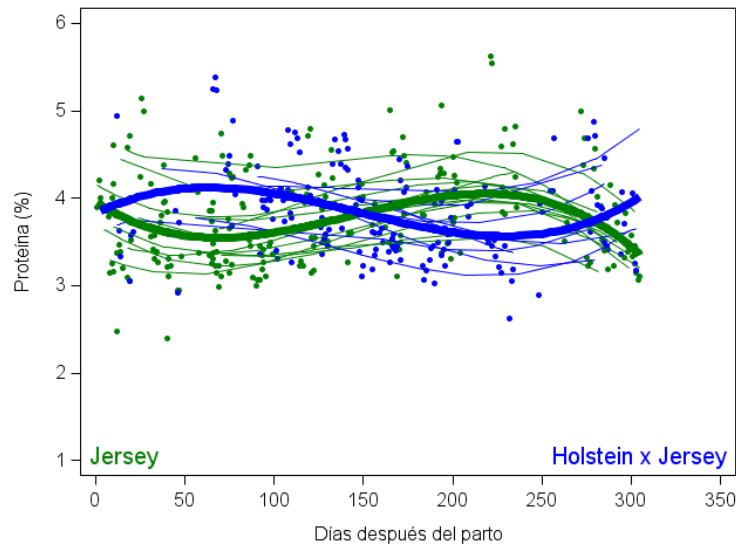


Figura 10. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas), de genotipos Jersey (verde) y Holstein×Jersey (azul) para el porcentaje de proteína en la leche en el día de lactancia.

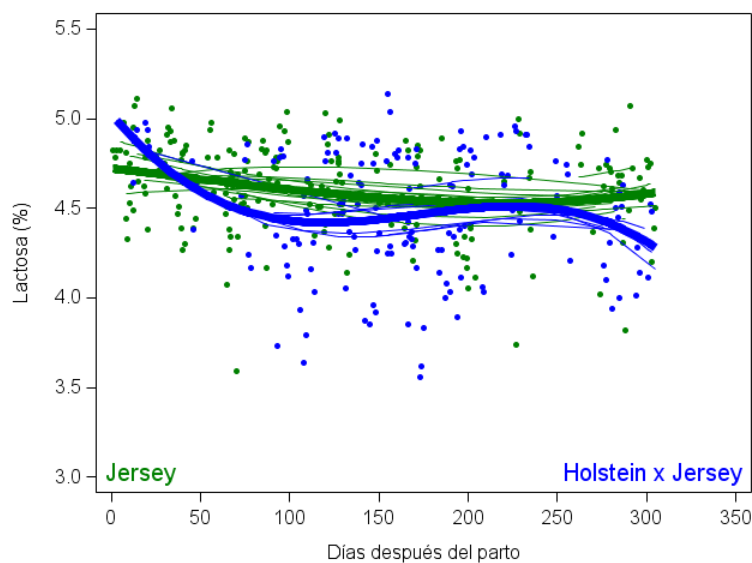


Figura 11. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas), de genotipos Jersey (verde) y Holstein×Jersey (azul), para el porcentaje de lactosa en la leche en el día de lactancia.

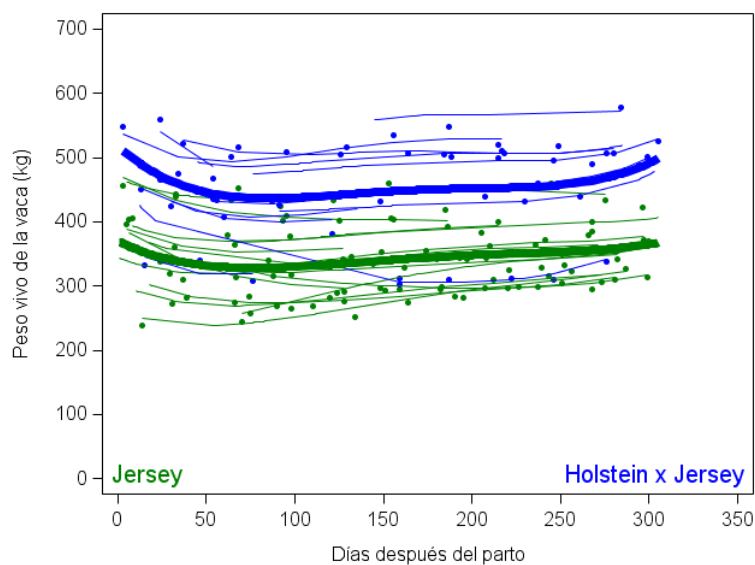


Figura 12. Diagrama de dispersión, líneas ajustadas de la regresión fija (líneas gruesas) y de la regresión aleatoria de vacas individuales (líneas delgadas) de genotipos Jersey (verde) y Holstein×Jersey (azul), para el peso vivo de la vaca (kg) en el día de lactancia.

3.6 Conclusiones

Se concluye que, en las condiciones de manejo y alimentación en pastoreo de los animales de los genotipos comparados, las vacas Jersey y sus cruza con Holstein producen diferentes cantidades diarias de leche que cuando se procesa genera igual rendimiento diario de Queso Panela. Sin embargo, las vacas cruzadas pesaron más de 100 kg que las vacas Jersey, lo cual tiene implicaciones de eficiencia a favor de las vacas Jersey cuando las comparaciones de rendimiento diario de queso se hacen por hectárea.

Agradecimientos

Al Módulo de Producción de Leche Orgánica, Unidad Tecnológica Lechera y Laboratorio de Calidad de Leche de la Universidad Autónoma Chapingo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado al becario durante los estudios de Maestría.

3.7 Literatura citada

- AIPL (Animal Improvement Programs Laboratory). 2006. Genetic and phenotypic trend. <http://aipl.arsusda.gov/eval/summary/trend.cfm>. Consultada el 15 de octubre de 2013.
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). 1990. Official methods of analysis. 15th edition. Association of Official Agricultural Chemistries. Washington, D.C.
- Ballester, M. 2005. La β -lactoglobulina y su aplicación en transgénesis. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra-España. Tesis de Doctorado. 174 pp.
- Caraviello D., Z., A. Weigel K., E. Shook G., and L. P. Ruegg. 2005. Assessment of the impact of somatic cell count on functional longevity in Holstein and Jersey cattle using survival analysis methodology. *Journal of Dairy Science* 88(2): 8704-811.
- Corral J., M., M. Izquierdo., S. Mateos., C. Parejo J., J. Salazar, A. Rabasco, M. Martínez-Trancón, E. Sansinforiano M., I. Hernández F., J. González-Crespo, M. A. Jiménez-Hernández, J. Portilla F., y A. Padilla J. 2006. Asociación del polimorfismo del gen de la κ -caseína (CSN3) con la producción y composición de la leche en ovino merino. Disponible en: www.aidaitea.org/jornada38/genetica/qtls_y_genes_candidatos_ii/qgc9_corral.pdf. Consultado en 13 de Noviembre de 20013.

- De Peters, 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.
- Delgado F., A., y B. C. A. Franco. 2006. Análisis de productividad de ganado lechero Holstein y Jersey en dos fincas de la sábana de Bogotá. Universidad de la Salle, Facultad de Administración Agropecuaria Bogotá, D.C. pp 45-62.
- Echeverri J., J., J. Arango y J. E. Parra. 2011. Análisis comparativo de los grupos genéticos Holstein, Jersey y algunos de sus cruces en un hato lechero del Norte de Antioquia en Colombia. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*. pp 264-267.
- Formaggioni P., A. Summer, M. Malacarne, and P. Mariani. 1999. Milk protein polymorphism: detection and diffusion of the genetic variants in *bos genus*. *Annual Facultad Medicine Veterinary University of Parma* 19: 127-165. www.unipr.it/arpa/facvet/annali/1999/index2.htm. Consultado en 15 de Noviembre de 2013.
- Fox P., F., T. P. Guinee, T. M. Cogan, and P. L. McSweeney. 2000. *Fundamentals of Cheese Science*. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland. pp. 32-34.
- Freyer G., Z. Liu, G. Erhardt, and L. Panicke. 1999. Casein polymorphism and relation between milk production traits. *Journal Animal Breeding Genetic* 116: 87-97.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF 246 p.
- Gutiérrez A., B., y J. de la F. Pintado. 2000. Uso del polimorfismo genético de las lactoproteínas para mejorar la calidad de la producción lechera. *Boletín Anembe*. www.anembe.com/revista/indice.cgi?folder=mar_abr_00. Consultado 13 de Noviembre de 2013.
- Hershberger A., U. 2012. Producción y calidad de leche de vacas en pastoreo o en estabulación. Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo. México. Tesis de Maestría. 64 p.
- Holmes C., W., y G. F. Wilson. 1989. *Producción de Leche en Praderas*. Acribia. Zaragoza. España. pp: 46-51.

- Hurley, W., L. 2009. Milk Composition and Synthesis. <http://classes.ansci.illinois.edu/ansc438/Milkcompsynth/milkcompsynthresources>. Consultada el 17 de febrero de 2014.
- IDF (International Dairy Federation). 1996. Whole milk determination of milk fat, protein and lactose content. Guide for operation of mid-infra-red instrument. FIL-IDF estándar 148 A (Brussels).
- Jenkins, T. C., and M. A. McGuire. 2006. Major advances in nutrition: impact on milk composition. *Journal of Dairy Science* 89: 1302-1310.
- Kahi, A., K., I. S. Kosgey, V. L. Cardoso, and J. A. M. Van Arendonk. 1998. Influence of production circumstances and economic evaluation criteria on economic comparison of breeds and breed crosses. *Journal of Dairy Science* 81:2271-2279.
- López-Villalobos, N., D. J. Garrick, C. W. Holmes, H. T. Blair, and R. J. Spelman. 2000. Profitabilities of some mating systems for dairy herds in New Zealand. *Journal of Dairy science* 83: 144-153.
- Madalena, F. 2001. Consideraciones sobre modelos para la predicción del desempeño de cruzamientos bovinos. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 9: 108-117.
- Magofke, J. C., y H. González. 2011. Destino de los vientres F1 en sistemas de producción de leche a pastoreo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Valdivia, Chile. pp. 3-21.
- McDowell, R. E., J. A. Velasco, L. D. Van Vleck, J. C. Johnson, G. W. Brandt, B. F. Hollon, and B. T. McDanieul. 1974. Reproductive efficiency of purebred and crossbred dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 57: 220-234.
- Ochoa, P. 1991. Mejoramiento genético del ganado bovino productor de leche. Departamento de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Distrito Federal. pp:72-77.
- SAS (Statistical Analysis System Institute). 2009. SAS/STAT 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 564 p.
- Touchberry, R. W. 1992. Crossbreeding effect in dairy cattle: The Illinois experiment, 1949 to 1969. *Journal of Dairy Science* 75: 640-667.
- Threadgill, D. W., and J. E. Womack. 1990. Genomic analysis of the major bovine milk protein genes. *Nucleic Acids Research* 18(23): 6935-6942.

Van Raden, P. M., and A. H. Sanders. 2003. Economic merit of crossbred and purebred US dairy cattle. Journal of Dairy Science 86:1036-1044.

Vargas, B., I. Marín, y J. J. Romero. 2012. Comparación bioeconómica de grupos raciales Holstein, Jersey y Holstein×Jersey en Costa Rica. Agronomía Mesoamericana 23(2):329-342.

3.8 Apéndices

Apéndice 1. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de queso panela

