

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA
POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**EFFECTO DEL GENOTIPO Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE EN EL
RENDIMIENTO DE QUESO FRESCO DE UN HATO EN PASTOREO**

TESIS

Que como requisito parcial

para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

GUADALUPE DOMÍNGUEZ PEREGRINO

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



APROBADA



Chapingo, Estado de México, junio de 2024

EFFECTO DEL GENOTIPO Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE EN EL RENDIMIENTO DE QUESO FRESCO DE UN HATO EN PASTOREO

Tesis realizada por **GUADALUPE DOMÍNGUEZ PEREGRINO**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

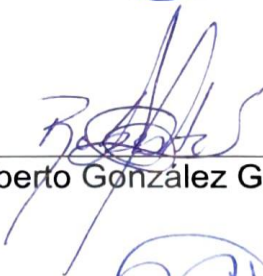
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph.D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR:



Dr. Roberto González Garduño

ASESOR:



Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde

ASESOR:



Dr. Ricardo Emmanuel Martínez Rocha

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
DEDICATORIAS	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DATOS BIOGRÁFICOS	x
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Leche cruda	3
2.2 Factores que afectan la composición de la leche y el queso	4
2.2.1 Raza	4
2.2.2 Etapa de lactancia	5
2.2.3 Edad del animal y número de lactancia	6
2.2.4 Alimentación	7
2.2.5 Rendimiento quesero	8
2.3 Literatura citada	11
3 EFECTO DEL GENOTIPO Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE EN EL RENDIMIENTO DE QUESO FRESCO DE UN HATO EN PASTOREO	17
3.1 Resumen	17
3.2 Abstract	18
3.3 Introducción	19
3.4 Materiales y métodos	20

3.4.1 Toma de muestras y análisis de laboratorio	21
3.4.2 Análisis estadístico	22
3.5 Resultados y discusión	23
3.5.1 Estadísticos descriptivos de las variables registradas en el estudio .	23
3.5.2 Variables de composición de la leche.....	25
3.5.3 Variables de producción de leche y componentes.....	30
3.5.4 Variables relacionadas con la composición del queso.....	34
3.5.5 Variables relacionadas con rendimiento y eficiencia de transformación de queso en ingresos	40
3.6 Conclusiones	45
3.7 Literatura citada	46

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición elemental de la leche bovina.	3
Cuadro 2. Composición fisicoquímica (%) de leche de distintas razas bovinas.	4
Cuadro 3. Estadísticos descriptivos para variables registradas en el periodo experimental.	24
Cuadro 4. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y las covariables significativas del modelo de mejor ajuste, para variables de composición de la leche de tres genotipos bovinos manejados en pastoreo en Chapingo, Estado de México.	26
Cuadro 5. Coeficientes ($\pm$ error estándar) de la regresión fija por genotipo de la vaca para porcentaje de grasa, proteína, sólidos no grasos y sólidos totales en leche, durante el experimento.....	27
Cuadro 6. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y las covariables significativas del modelo de mejor ajuste, para variables de producción de leche y componentes de tres genotipos bovinos manejados en pastoreo en Chapingo, Estado de México..	31
Cuadro 7. Coeficientes ($\pm$ error estándar) de la regresión fija por genotipo de la vaca para producción diaria de leche, grasa, proteína y sólidos totales, durante el experimento.	32
Cuadro 8. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y las covariables significativas del modelo de mejor ajuste, para variables de composición de queso fresco elaborado con leche de tres genotipos bovinos manejados en pastoreo en Chapingo, Estado de México.....	35
Cuadro 9. Coeficientes ($\pm$ error estándar) de la regresión fija por genotipo de la vaca para porcentaje de grasa, proteína, sólidos no grasos y sólidos totales en leche, durante el experimento.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para porcentaje de grasa (izquierda) y porcentaje de proteína en leche (derecha) de vacas de tres genotipos bovinos alimentados en pastoreo.	28
Figura 2. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para porcentaje de sólidos no grasos (izquierda) y porcentaje de sólidos totales en leche (derecha) de vacas de tres genotipos bovinos alimentados en pastoreo.	28
Figura 3. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para producción diaria de leche (izquierda) y para producción diaria de grasa (derecha) de vacas de tres genotipos bovinos alimentadas en pastoreo.	33
Figura 4. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para producción diaria de proteína (izquierda) y producción diaria de sólidos (derecha) en leche de vacas de tres genotipos bovinos alimentadas en pastoreo.	33
Figura 5. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para humedad (%) en queso fresco elaborado con leche de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.	37
Figura 6. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas	

discontinuas) para grasa (%) en queso fresco elaborado con leche de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.	37
Figura 7. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para proteína (%) en queso fresco elaborado con leche de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.	38
Figura 8. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para sólidos totales (%) en queso fresco elaborado con leche de vacas de tres genotipos, alimentadas en pastoreo.	38
Figura 9. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para litros de leche cruda necesarios para elaborar un kg de queso fresco con leche de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.	43
Figura 10. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para producción diaria de queso fresco de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.	43
Figura 11. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para ingreso diario por vaca cuando la producción se vende como leche fluída (derecha) y cuando la producción se vende como queso fresco (derecha) de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.	44

DEDICATORIAS

A papá y mis hermanas, esto es un recordatorio de que el camino hacia el conocimiento y el crecimiento personal es un viaje lleno de desafíos.

ZM gracias compartir conmigo algo más que el café en la mañana, los quiero.

Con mucho cariño

Guadalupe

AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento a mi alma mater, la **Universidad Autónoma Chapingo**, por brindarme siempre un ambiente académico enriquecedor y educación de calidad. Principalmente quiero reconocer y agradecer al **Posgrado en Producción Animal del Departamento de Zootecnia** por darme la oportunidad de formar parte de su comunidad estudiantil durante esta etapa.

Al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)** por el apoyo financiero otorgado durante mi posgrado, lo que me permitió terminar mi formación académica.

A mi director el **Ph.D. José Guadalupe García Muñiz**, por su orientación, guía y facilidades otorgadas para la realización de este trabajo. Su experiencia ha sido fundamental para mi crecimiento profesional.

A quienes con sus comentarios y contribuciones, permitieron enriquecer este estudio, mis asesores el **Dr. Roberto González Garduño**, **Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde** y **Dr. Ricardo Emmanuel Martínez Rocha**.

A mis compañeros de la maestría, quienes a lo largo de este camino no solo fueron colegas, sino también amigos entrañables, gracias por compartir risas, desafíos y aprendizajes. También a los compañeros de doctorado por su amistad y consejos para poder concluir esta etapa de mi vida.

A todas las personas que formaron parte de mi vida en estos dos años y han contribuido a mi desarrollo profesional y personal, mi sincero agradecimiento.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Guadalupe Domínguez Peregrino

Fecha de nacimiento: 14 de noviembre de 1996

Lugar de nacimiento: Paraíso, Tabasco, México

CURP: DOPG961114MTCMRD03

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zonas Tropicales

Cédula profesional: 12663660

Desarrollo Académico

Maestría: 2022-2023 Maestra en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: 2015-2020 Ingeniero Agrónomo Especialista en Zonas Tropicales, URUSSE, Universidad Autónoma Chapingo

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Con la creciente demanda de alimentos de origen animal, la ganadería en México presenta retos importantes, como lo son el aumento de producción y calidad de los productos pecuarios. Durante 2022 la producción de leche en el país superó los 13 mil millones de litros (SIAP, 2023), lo que muestra la resiliencia de este sector a pesar del incremento del precio en los insumos para la alimentación de los animales.

En sistemas de producción cuya alimentación se basa en pastoreo, la transformación de la leche en derivados lácteos representa una posibilidad para aumentar la rentabilidad de empresas ganaderas. Uno de los principales requerimientos para producir quesos de manera eficiente, es el alto contenido de sólidos totales (ST) de la leche utilizada para su elaboración. Según Lemus et al. (2020), en sistemas de producción de leche en pastoreo la medida de eficiencia no es obtener la mayor cantidad de leche por vaca individual, sino una mayor producción de sólidos de leche por unidad de superficie (kg ha^{-1}) durante la lactancia.

Si bien todas las especies rumiantes producen leche que se puede transformar en queso, se han reportado diferencias en la composición de la leche entre especies y entre animales (Bittante et al., 2022). El efecto de la raza, la edad, el número de partos, etapa de lactancia y alimentación, entre otros, producen diferencias positivas y negativas en la composición y propiedades tecnológicas de la leche (Priyashantha & Lundh, 2021).

En la búsqueda por alcanzar mayores porcentajes de ST, el mejoramiento genético se ha dirigido a la obtención de razas y cruzas que expresen mayor valor proteico y alto contenido graso, sin que esto implique aumentar los volúmenes de producción.

Existen dos criterios para cuantificar la producción de ST en leche; en porcentaje del total producido y en kilogramos producidos de sus componentes. El primero determina la concentración o participación de la grasa, proteínas y sólidos en el

volumen total de la producción, mientras que los kilogramos se refieren a la cantidad de los componentes en la leche producida (Cerón & Correa, 2005).

La necesidad de estandarizar la calidad de la materia prima con la que se obtienen productos lácteos permite entrar al comercio nacional y avanzar a mercados internacionales (Calvache & Navas, 2012). Por esta razón, el implementar políticas que incentiven a obtener leche de calidad son necesarias para beneficiar al productor y ofrecer a la población alimentos inocuos y con las mejores propiedades nutricionales (Contero et al., 2021).

El precio de la leche al productor está condicionado por los porcentajes o kilogramos de sus componentes. Por esta razón, si está condicionado a porcentaje, conviene tener en el hato razas como la Jersey que produzcan alto contenido de ST por litro; si el pago está condicionado por cantidad, se prefiere la raza Holstein por su alto nivel de producción (Campabadal, 1999).

La evaluación del rendimiento de la leche en queso permite identificar la relación existente entre su composición fisicoquímica y la persistencia de estas propiedades en el producto final, de ahí que los conocimientos derivados de investigaciones sobre la calidad de leche sean de suma importancia para la toma de decisiones y adopción de prácticas que incrementen la eficiencia de toda la cadena de suministros de productos lácteos.

En el Capítulo 2 de este documento se presenta una revisión de literatura que contiene información referente a lo obtenido por otros autores respecto al efecto de la raza, edad, etapa de lactancia y alimentación de bovinos lecheros en la composición fisicoquímica de la leche y el rendimiento en la transformación a productos lácteos como el queso.

Finalmente, en el Capítulo 3 se presenta el artículo generado con la información de este trabajo, donde se evaluó el impacto del genotipo (Jersey y su cruce con Holstein y Criollo Lechero Tropical) en la composición de la leche y la producción de queso fresco de un hato en pastoreo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Leche cruda

La leche cruda se define como la secreción de las glándulas mamarias de vacas sanas, libres de calostro y sin tratamiento térmico (COFOCALEC, 2012). Este líquido está compuesto, en promedio, por 87 % de agua y 13 % de sólidos (Cuadro 1), entre los que se encuentran la proteína, grasa, lactosa y minerales.

La composición fisicoquímica de la leche, además de ser crucial para la elaboración de derivado lácteos, especialmente el contenido de grasa, proteína y caseína, es fundamental para la alimentación y salud humana (Mariani et al., 2022). El valor nutricional y la calidad de la leche está determinada por el porcentaje de sus componentes y su condición microbiológica, además de representar un indicador para establecer precios (Ortiz et al., 2002). Un mayor contenido de sólidos, en especial grasa y proteína, aporta más nutrientes al consumidor y mejora las propiedades tecnológicas de la leche (Cerón & Correa, 2005).

Villegas et al. (2016) denominan razas “mantequilleras”, a aquellas razas de vacas cuyo porcentaje de grasa en leche sea igual o mayor a 5 %, considerando a estas las mejores para elaborar productos lácteos.

Cuadro 1. Composición elemental de la leche bovina.

Agua	87 – 88 %
Sólidos totales	12 – 13 %
Materia grasa	3.0 - 3.5 %
Materia proteica	2.8 - 3.5 %
Lactosa	4.5 - 5.0 %
Minerales (cenizas)	0.7 %

Fuente: SEDESOL, 2007

2.2 Factores que afectan la composición de la leche y el queso

2.2.1 Raza

Existen notables diferencias entre las razas lecheras respecto a la composición fisicoquímica de su leche, derivado de los distintos objetivos productivos, manejo y alimentación de los sistemas de producción.

Las razas Holstein y Jersey son las más estudiadas en cuanto a producción y composición láctea se refiere. Hazard (1997) menciona porcentajes de materia grasa para Holstein de 3.40 y 5.37 para Jersey. Por otro lado, Acosta et al. (2020) reportan contenidos de grasa y proteína a favor de Jersey, con valores de 4.02 y 3.33 % respectivamente, mientras que la raza Holstein presentó 3.33 % de grasa y 2.73 % de proteína.

Del mismo modo, la raza Criollo Lechero Tropical (CLT) ha mostrado porcentajes de grasa y proteína del 3.4 % para ambos parámetros (Rosendo et al., 2021), lo que representa una oportunidad de aprovechamiento para la transformación industrial de esta leche.

Esta variación entre razas indica que una de las formas de incrementar las características deseadas en la leche es a través de cruza con animales mejorados en este aspecto (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición fisicoquímica (%) de leche de distintas razas bovinas.

Raza	Grasa	Proteína	Lactosa	² ST	Autor
¹ CLT	3.40	3.40	4.80	12.30	Rosendo et al., 2021
Gris Alpino	3.86	3.65	5.07	13.37	Stocco et al., 2017
Guzerat	5.14	3.12	4.66	14.16	De Oliveira et al., 2021
Gyr	4.81	3.13	4.68	13.98	De Oliveira et al., 2021
Holstein	3.60	3.02	4.73	12.01	Wingching-Jones y Mora, 2019
Jersey	5.46	3.91	4.85	14.81	Stocco et al., 2017
Pardo suizo	4.13	3.67	5.01	13.51	Stocco et al., 2017
Rendena	3.60	3.38	5.08	12.73	Stocco et al., 2017
Simental	3.88	3.51	4.81	-	Cecchinato et al., 2015
Sindi	4.35	3.16	4.72	14.65	De Oliveira et al., 2021

²ST: Sólidos totales; ¹CLT: Criollo Lechero Tropical.

Razas de estructura pequeña, como la Jersey, ha presentado hasta el 31 % menos producción de leche que razas lecheras de talla grande, pero mayor contenido de proteína y grasa (Stocco et al., 2017). Este efecto de raza es mayor entre las especializadas y las de doble propósito, destacando para estas últimas una buena calidad y mejores propiedades de coagulación para quesos. Aun corrigiendo las fuentes de variación fenotípicas e individuales, la raza sigue siendo el principal indicador de la variación genética entre y dentro de las poblaciones (Stocco et al., 2018).

El cruzamiento entre razas ha sido una estrategia para mejorar las cualidades de las vacas Holstein; sin embargo, aún falta investigación para comprender como esta práctica afecta las propiedades tecnológicas de la leche y el rendimiento en la producción de queso (Saha et al., 2020). Además de favorecer la sinergia entre razas en relación con características económicamente importantes, el cruzamiento permite aprovechar el efecto de la heterosis (De Almeida et al., 2024).

La heterosis o vigor híbrido permite aprovechar las características de razas puras, por lo que la descendencia de estos cruzamientos tiene un desempeño superior a sus progenitores. Peralta et al. (2022) menciona que, en entornos climáticos difíciles y sistemas de manejo extensivo, los animales provenientes de cruces de *B. taurus* x *B. indicus* y razas criollas tienen una mejor adaptación al estrés ambiental y menor susceptibilidad a enfermedades.

2.2.2 Etapa de lactancia

Otro factor condicionante de la composición de la leche es la evolución de la producción a lo largo del tiempo. Se considera que un aumento en los niveles productivos implica una disminución en los porcentajes de grasa y proteína (Pérochon et al., 1996). De manera general, durante el pico de lactancia se presentan menores concentraciones de sólidos en la leche y aumentan conforme se acerca a la etapa de secado (Hurley et al., 2004). Sin embargo, este comportamiento no sucede en vacas con niveles productivos bajos y en explotaciones menos tecnificadas (Álvarez, 2011).

Acosta et al. (2020) reportan porcentajes de sólidos superiores para vacas Holstein y Jersey durante los primeros cuatro meses de lactancia, seguido de una reducción para luego aumentar al final de la lactación, atribuyendo esta diferencia a una relación inversa entre componentes y producción de leche.

De acuerdo con lo reportado por Sanjayanj et al. (2022) para vacas Holstein-Friesian, la producción de grasa es más alta al inicio de la lactancia y disminuye al final. Mientras la cruce de este genotipo con Jersey produjo porcentajes de grasa más altos al comienzo y al final de la lactancia.

En un estudio sobre la variación de la composición en distintas etapas de lactancia, Maheshwari y Jaishankar (2021) mencionan que todos los parámetros, excepto la lactosa, mostraron diferencias ($p < 0.01$) entre las fases de lactancia; estos resultados fueron similares a los reportados por Gajbhiye et al. (2019), donde la etapa de lactancia tuvo una influencia significativa en la grasa, proteína, sólidos no grasos y contenido total de sólidos de la leche.

Rosendo y Becerril (2015) mencionan que la raza CLT no presenta un incremento productivo al inicio de la lactancia como se esperaría en zonas templadas. Sin embargo, estos mismos autores observan que este genotipo presenta ventajas para lactancias mayores que 300 días. Ramos et al. (1998) señalan que hatos con menores días en lactancia presentarán una mayor producción de leche, pero con porcentajes menores de sólidos.

2.2.3 Edad del animal y número de lactancia

El contenido de grasa, proteína y lactosa son afectados por el número de partos del animal, mientras que la edad y el nivel productivo afectan directamente el contenido de sólidos totales (WingChing-Jones & Mora, 2015). Esto debido a que la producción de leche aumenta con el número de lactancia, incrementándose en el tercer y cuarto parto, lo que depende de la edad al primer servicio del animal y el manejo reproductivo (Aranda et al., 2001).

Autores como Hurley & Morin (2000) y Stocco et al. (2017) reportan que el contenido de proteína en la leche disminuye conforme avanza la edad del animal e incrementa el número de partos. Contrario a esto, Schmidt y Van Vleck (1976) mencionan que los niveles de proteína se mantienen constantes de la primera a la quinta lactancia, pero con una disminución del 0.60 % en los ST producidos por el animal.

Bittante et al. (2015) observaron una disminución en los porcentajes de proteína en leche y ningún cambio en la concentración de grasa respecto al aumento del número de lactancia. Además, se ha reportado que lactancias prolongadas (más de 12 meses) aumentan los porcentajes de proteína y grasa en la leche, mientras que los componentes lactosa y caseína disminuyen (Sorensen et al., 2008). Los cambios en la proporción caseína:proteína podrían tener un efecto negativo en la transformación de productos lácteos. Sin embargo, se ha reportado mejoría en las aptitudes queseras de la leche al extender el ciclo de lactancia, sin que esto afecte la relación caseína:proteína (Maciel et al., 2017).

En vacas cruzadas con producción de leche moderada e intervalo entre partos de 15 a 18 meses, no se han presentado cambios importantes en la composición de la leche ni en las propiedades para elaborar queso (Maciel et al., 2017).

2.2.4 Alimentación

El manejo alimenticio influye en la composición de la leche, particularmente en el porcentaje de grasa. Dietas altas en concentrado involucran una disminución del contenido de grasa, mientras que las ricas en forraje permiten aumentar esta característica (Hazard, 1997). Los animales de alta producción láctea consumen dietas que contienen carbohidratos fácilmente fermentables en el rumen, lo que conlleva a leche con bajo contenido de grasa (Góngora, 2006).

La alimentación, estacionalidad, calidad de forrajes y la suplementación en la dieta, entre otras estrategias de alimentación también influyen en la composición de la leche cruda. Rosendo et al. (2021) evaluaron el efecto de la suplementación de vacas CLT en pastoreo, donde se obtuvo un incremento en la producción de leche del 22 % sin afectar los niveles de grasa, proteína, lactosa y sólidos ($p>0.05$).

La suplementación es una estrategia para complementar las posibles deficiencias en la dieta de las vacas lecheras; sin embargo, no se reportan cambios significativos en la composición de la leche al adicionar selenio o zinc, pero sí en las propiedades nutricionales como el aumento de ácido linoleico y ácido linoleico conjugado en leche y queso, además de reducir el recuento de células somáticas en leche (Calamari et al., 2010; Ianni et al., 2019a; Ianni et al., 2019b).

Así mismo, se han reportado cambios en el perfil aromático de la leche y de los quesos derivados de vacas suplementadas con subproductos industriales, aumentando el potencial antioxidante en estos productos (Castellani et al., 2017; Ianni et al., 2019c). Además de las respuestas de la leche en el nivel de ácidos grasos y la salud de la ubre, los cambios sensoriales de los productos lácteos, por efecto de los cambios en la dieta deben ser analizados con detalle para evaluar la aceptabilidad del consumidor final (Ferlay et al., 2006).

Los sistemas de producción en pastoreo tienen características distintivas en las propiedades sensoriales de la leche y el aumento en el color amarillo de los quesos. Adicionalmente, los cambios en el contenido de grasa y el perfil de ácidos grasos influyen en la textura de los productos lácteos como mantequilla y quesos (Kilcawley et al., 2018).

El tipo de alimentación de los animales permite distinguir los productos lácteos en orgánicos y convencionales. Sin embargo, la comparación de la composición de leche de vacas manejadas de una u otra forma sigue siendo complicado, debido a que el manejo y sus efectos difieren según el país, la temporada, entre y dentro de los sistemas orgánicos y convencionales (Akkerman et al., 2019; Schwendel et al., 2015).

2.2.5 Rendimiento quesero

Cuando la producción de leche se destina para la obtención de quesos, se deben considerar condiciones específicas que permitan obtener la mejor calidad y un aprovechamiento eficiente de los recursos (Priyashantha & Lundh, 2021). Para la industria quesera el interés en el rendimiento surge de la importancia económica

que pueden significar pequeñas diferencias de rendimiento en la transformación de leche a queso. Estas diferencias en rendimiento de la leche para la elaboración de queso pueden utilizarse para la fijación de precios de la leche y en el control de la fabricación de quesos (Emmons et al., 1990).

El papel de la composición de la leche, en especial de la proteína, en la retención de nutrientes en la cuajada del queso podría usarse para ajustar los objetivos de selección en hatos lecheros y establecer el valor económico de estos componentes en los índices de selección (Mariani et al., 2022).

El porcentaje de ST en leche determina el rendimiento en queso, por lo que se ha buscado aumentar el porcentaje de éstos para producir mayor volumen de queso con menor cantidad de leche. Alzuagaray et al. (2010) definen el rendimiento como la cantidad de queso expresado en kilogramos, obtenida a partir de una determinada cantidad de leche.

Debido a que la composición de la leche entre razas es diferente, también lo será el rendimiento en productos lácteos. Esto se debe a que el contenido de proteínas y grasas, que son los principales contribuyentes al rendimiento de queso, afectan las propiedades de coagulación de la leche (Cecchinato & Bittante, 2016).

Las vacas Jersey tienen un mayor contenido de caseína en comparación con la raza Roja Danesa o Holstein, característica que mejora los tiempos de coagulación de la leche en la elaboración de queso (Frederiksen et al., 2011). Bland et al. (2015), al comparar las razas Jersey y Holstein-Friesian para la producción de queso Cheddar, obtuvieron mayor rendimiento, menor tiempo de cuajada, quesos con más contenido graso y coloración amarilla con la leche proveniente de vacas Jersey que las Holstein-Friesian.

La raza Holstein-Friesian a pesar de tener un alto nivel productivo, presenta menos propiedades de coagulación comparada con razas de menor producción como las locales, las cuales compensan su baja productividad con la adaptabilidad al entorno, la robustez, fertilidad, entre otros (De Marchi et al., 2007).

Las diferencias entre razas para los rendimientos en la transformación, son resultado de distintos niveles productivos y concentración de componentes, además de las diferentes tasas de recuperación de estos componentes en la elaboración de queso (Stocco et al., 2018).

Se ha estudiado poco el rendimiento de queso a nivel de vaca individual, la mayoría de los estudios se realizan en la leche proveniente de todo el hato. Por lo tanto, el rendimiento expresado de forma porcentual como el queso producido a partir de la leche procesada es de importancia económica, mientras que el rendimiento diario expresado en kilogramos de queso por vaca es el objetivo de muchos productores (Stocco et al., 2018).

El número de partos tiene efecto sobre el rendimiento en queso y la pérdida de sus componentes a través del tiempo. Cipolat-Gotet et al. (2020) observaron en quesos modelo madurados a 60 días que la pérdida de peso, proteína y grasa se incrementa con el número de partos y el rendimiento es mayor en lactancias posteriores a los cien días. Otros estudios mencionan que la leche de vacas primíparas contiene niveles más altos de caseína y lactosa que las multíparas, afectando las propiedades de coagulación del queso (Bittante et al., 2015; Stocco et al., 2018).

Coulon et al. (1998) reportan que en la última etapa de lactancia, los quesos presentan menos coloración amarilla, menor firmeza y sabores intensos. En sistemas de pastoreo, se ha encontrado que durante la lactancia tardía, los quesos presentan mayor humedad que los elaborados con leche de los primeros días de lactancia (Hinz et al., 2012).

Por otro lado, la composición del queso se ve afectada por los distintos factores previamente mencionados y el manejo de la leche. Se ha reportado que la leche almacenada durante varios días antes de ser procesada, es propensa a sufrir deterioro en su composición, perdiendo mayor cantidad de componentes en el suero y por lo tanto menores rendimientos (Katz et al., 2016).

En relación con los distintos sistemas de producción de leche, se han reportado diferencias en el rendimiento del queso producido a partir de vacas en pastoreo como mejor coagulación, mayor rendimiento y elasticidad de la cuajada para la manipulación en comparación con los quesos elaborados con leche de producciones intensivas (Agabriel et al., 2004; Bonanno et al., 2013).

2.3 Literatura citada

- Acosta, A. Y., La O-Michel, A. L., & La O-Cantalapiedra, L. A. (2020). La composición de la leche, su variación según raza y la lactancia. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 24, 93-98.
- Agabriel, C., Martin, B., Sibra, C., Bonnefoy, J. C., Montel, M. C., Didienné, R., & Hulin, S. (2004). Effect of dairy production systems on the sensory characteristics of Cantal cheeses: A plant-scale study. *Animal Research*, 53(3), 221-234. <https://doi.org/10.1051/animres:2004013>
- Akkerman, M., Larsen, L. B., Sørensen, J., & Poulsen, N. A. (2019). Natural variations of citrate and calcium in milk and their effects on milk processing properties. *Journal of Dairy Science*, 102(8), 6830-6841. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16195>
- Álvarez, H. J. (2011). Milk production and ruminal digestion in lactating dairy cows grazing temperate pastures and supplemented with dry cracked corn or high moisture corn. *Animal Feed Science and Technology*, 91, 183-195. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00206-1](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00206-1)
- Alzuagaray, M., Pena, M., & Micheo, C. (2010). Evaluación del rendimiento en quesos de pasta blanda elaborados a partir de leche con diferente tenor graso. Facultad de Ciencias Veterinarias, UNCPVA. 112 páginas.
- Aranda, E., Mendoza, G. D., García-Bojalil, C., & Castrejón, F. (2001). Growth of heifers grazing Stargrass complemented with sugar cane, urea and a protein supplement. *Livestock Production Science*, 71(2-3), 201-206. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00188-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00188-9)
- Bittante, G., Amalfitano, N., Bergamaschi, M., Patel, N., Haddi, M.-L., Benabid, H., Pazzola, M., Vacca, G. M., Tagliapietra, F., & Schiavon, S. (2022). Composition and aptitude for cheese-making of milk from cows, buffaloes, goats, sheep, dromedary camels, and donkeys. *Journal of Dairy Science*, 105(3). <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20961>
- Bittante, G., Cipolat-Gotet, C., Malchiodi, F., Sturaro, E., Tagliapietra, F., Schiavon, S., & Cecchinato, A. (2015). Effect of dairy farming system, herd, season, parity, and days in milk on modeling of the coagulation, curd firming, and syneresis of bovine milk. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2759-2774. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8909>

- Bland, J. H., Grandison, A. S., & Fagan, C. C. (2015). Effect of blending Jersey and Holstein-Friesian milk on Cheddar cheese processing, composition, and quality. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 1-8. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8433>
- Bonanno, A., Tornambè, G., Bellina, V., De Pasquale, C., Mazza, F., Maniaci, G., & Di Grigoli, A. (2013). Effect of farming system and cheesemaking technology on the physicochemical characteristics, fatty acid profile, and sensory properties of Caciocavallo Palermitano cheese. *Journal of Dairy Science*, 96(2013), 710-724. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5973>
- Calamari, L., Petrera, F., & Bertin, G. (2010). Effects of either sodium selenite or Se yeast (Sc CNCM I-3060) supplementation on selenium status and milk characteristics in dairy cows. *Livestock Science*, 128(1-3), 154-165. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.12.005>
- Calvache G., I., & Navas P., A. (2012). Factores que influyen en la composición nutricional de la leche. *Revista Ciencia Animal*, 1(5), Article 7. <https://doi.org/10.21552/cienciaanimal.v1i5.7>
- Campabadal, C. (1999). Factores que afectan el contenido de sólidos de la leche. *Nutrición Animal Tropical*, 5(1), 67-72. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/11103/10464>
- Castellani, F., Vitali, A., Bernardi, N., Marone, E., Palazzo, F., Grotta, L., & Martino, G. (2017). Dietary supplementation with dried olive pomace in dairy cows modifies the composition of fatty acids and the aromatic profile in milk and related cheese. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8658-8669. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12899>
- Cecchinato, A., & Bittante, G. (2016). Genetic and environmental relationships of different measures of individual cheese yield and curd nutrients recovery with coagulation properties of bovine milk. *Journal of Dairy Science*, 99(3), 1975-1989. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9629>
- Cecchinato, A., Albera, A., Cipolat-Gotet, C., Ferragina, A., & Bittante, G. (2015). Genetic parameters of cheese yield and curd nutrient recovery or whey loss traits predicted using Fourier-transform infrared spectroscopy of samples collected during milk recording on Holstein, Brown Swiss, and Simmental dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(7), 4914-4927. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8599>
- Cerón, J. M., & Correa, H. J. (2005). Factores nutricionales que afectan la producción de la leche. En Pabón M. y Ossa J. (Eds.), *Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca* (pp. 229-261). Fondo Editorial Biogénesis: Medellín, Colombia.
- Cipolat-Gotet, C., Malacarne, M., Summer, A., Cecchinato, A., & Bittante, G. (2020). Modeling weight loss of cheese during ripening and the influence of dairy system, parity, stage of lactation, and composition of processed milk. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 6843-6857. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17829>
- COFOCALEC (Consejo para el Fomento de la Calidad de Leche y sus derivados) . (2012). NMX-F-700-COFOCALEC-2012. Sistema Producto Leche – Alimento – Lácteo – Leche cruda de vaca – Especificaciones físicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba. México (DF).

- Contero, R., Requelme, N., Cachipiendo, C., & Acurio, D. (2021). Calidad de la leche cruda y sistema de pago por calidad en el Ecuador. *La Granja*, 33(1), 31-43. <https://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.03>
- Coulon, J. B., Verdier, I., Pradel, P., & Almendra, M. (1998). Effect of lactation stage on the cheesemaking properties of milk and the quality of Saint-Nectaire-type cheese. *Journal of Dairy Research*, 65(2), 295-305. <https://doi.org/10.1017/S002202999700277X>
- De Almeida, P. A. L., Barbosa, R. I. D., Restle, J., Menezes, L. F. G., De Souza, J. S., Farinatti, L. H. E., Fluck, A. C., De Sá, H. A. O. M., & Vaz, R. Z. (2024). Genetic group and heterosis in the behavioural evolution of steers during finishing in confinement. *Livestock Science*, 282, 105440. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2024.105440>
- De Marchi, M., Dal Zotto, R., Cassandro, M., & Bittante, G. (2007). Milk coagulation ability of five dairy cattle breeds. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-627>
- De Oliveira, S. I. L., Rangel, N. A. H., Madruga, C. R., De Lima Júnior, M. D., Gomes, S. R. D., Sales, C. D., & Bezerra, S. J. (2021). Physicochemical composition, yield and sensory acceptance of Coalho cheese obtained from Zebu's cow milk. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(2), 337–352. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5600>
- Emmons, D. B., Ernstrom, C. A., Lacroix, C., & Verret, P. (1990). Predictive formulas for yield of cheese from composition of milk: A review. *Journal of Dairy Science*, 73(6), 1365-1394. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78803-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78803-0)
- Ferlay, A., Martin, B., Pradel, Ph., Coulon, J. B., & Chilliard, Y. (2006). Influence of grass-based diets on milk fatty acid composition and milk lipolytic system in Tarentaise and Montbéliarde cow breeds. *Journal of Dairy Science*, 89(10), 4026-4041. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72446-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72446-8)
- Frederiksen, P. D., Hammershøj, M., Bakman, M., Andersen, P. N., Andersen, J. B., Qvist, K. B., & Larsen, L. B. (2011). Variations in coagulation properties of cheese milk from three Danish dairy breeds as determined by a new free oscillation rheometry-based method. *Dairy Science & Technology*, 91, 309–321. <https://doi.org/10.1007/s13594-011-0018-5>
- Gajbhiye, P. U., Ahlawat, A. R., Sharma, H. A., & Parikh, S. S. (2019). Effect of stage, season, and parity of lactation on milk composition in Gir cattle. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 2387-2396. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.285>
- Góngora Á., J. F. (2006). Evaluación del comportamiento productivo, reproductivo y composición de la leche en vacas Normando puros y en diferentes porcentajes de sangre, en la finca Chuguaca, Municipio de San Francisco. Recuperado de <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/143>
- Hazard, T. S. (1997). Variación de la composición de la leche. Temuco: Serie Carillanca. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/32524>

- Hinz, K., O'Connor, P. M., O'Brien, B., Huppertz, T., Ross, R. P., & Kelly, A. L. (2012). Proteomic study of proteolysis during ripening of Cheddar cheese made from milk over a lactation cycle. *Journal of Dairy Research*, 79(2), 176-184. <https://doi.org/10.1017/S0022029912000027>
- Hurley, I. P., Coleman, R. C., Ireland, H. E., & Williams, J. H. (2004). Measurement of bovine IgG by indirect competitive ELISA as a means of detecting milk adulteration. *Journal of Dairy Science*, 87, 543-549. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73195-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73195-1)
- Hurley, W. L., & Morin, D. E. (2000). Mastitis Lesson A. *Lactation Biology*. ANSCI 308. Recuperado de <http://classesaces.uiuc.edu/Ansci308/>
- Ianni, A., Bennato, F., Martino, C., Innosa, D., Grotta, L., & Martino, G. (2019a). Effects of selenium supplementation on chemical composition and aromatic profiles of cow milk and its derived cheese. *Journal of Dairy Science*, 102(8), 6853-6862. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16382>
- Ianni, A., Iannaccone, M., Martino, C., Innosa, D., Grotta, L., Bennato, F., & Martino, G. (2019b). Zinc supplementation of dairy cows: Effects on chemical composition, nutritional quality and volatile profile of Giuncata cheese. *International Dairy Journal*, 94, 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.02.014>
- Ianni, A., Innosa, D., Martino, C., Bennato, F., & Martino, G. (2019c). Compositional characteristics and aromatic profile of caciotta cheese obtained from Friesian cows fed with a dietary supplementation of dried grape pomace. *Journal of Dairy Science*, 102(2), 1025-1032. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15590>
- Katz, G., Merin, U., Bezman, D., Lavie, S., Lemberskiy-Kuzin, L., & Leitner, G. (2016). Real-time evaluation of individual cow milk for higher cheese-milk quality with increased cheese yield. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4178-4187. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10599>
- Kilcawley, K. N., Faulkner, H., Clarke, H. J., O'Sullivan, M. G., & Kerry, J. P. (2018). Factors influencing the flavour of bovine milk and cheese from grass based versus non-grass based milk production systems. *Foods*, 7(3), 37. <https://doi.org/10.3390/foods7030037>
- Lemus, R. V., Guevara, E. A., García, R. J. A., Gaspar, S. D., García, M. J. G., & Pacheco, R. D. (2020). Producción de leche de vacas en pastoreo de alfalfa (*Medicago sativa*) en el altiplano mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(1), 1-18. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4814>
- Maciel, G. de M., Mogensen, L., Lehmann, J. O., Kidmose, U., Kristensen, T., Larsen, L. B., Poulsen, N. A. (2017). Impaired milk quality and cheese making properties is not a concern for managing cows for 15 or 18 months calving intervals. *International Dairy Journal*, 70, 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.12.014>
- Maheshwari, S., & Jaishankar, S. (2021). A study on variation in milk composition of crossbred cows during different stages of lactation. *The Pharma Innovation Journal*, 10(4), 1242-1244. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5064679>

- Mariani, E., Malacarne, M., Cipolat-Gotet, C., Cecchinato, A., Bittante, G., & Summer, A. (2022). Prediction of fresh and ripened cheese yield using detailed milk composition and udder health indicators from individual Brown Swiss cows. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, Article 1012251. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1012251>
- Ortiz, O. G., Avila, D. A., Lagunes, L. J., Castañeda, M. O., López, G. I., Aguilar, B. U., Román, P. H., Villagómez, C. J. A., Aguilera, S. R., Quiroz, V. J., & Calderón, R. R. (2002). Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. *INIFAP. CIRGOC. Libro Técnico Núm. 5*. (2ª ed.). Veracruz, México.
- Peralta-Torres, J. A., Izquierdo-Camacho, Y., Severino-Lendecky, V. H., & Segura-Correa, J. C. (2022). Producción de leche de vacas Holstein x Gyr en un sistema de doble propósito en el trópico. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1), e2359. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2359>
- Pérochon, L., Coulon, J. B., & Lescourret, F. (1996). Modelling lactation curves of dairy cows with emphasis on individual variability. *Animal Science*, 63(2), 189-200. <https://doi.org/10.1017/S1357729800014740>
- Priyashantha, H., & Lundh, Å. (2021). Graduate student literature review: Current understanding of the influence of on-farm factors on bovine raw milk and its suitability for cheesemaking. *Journal of Dairy Science*, 104(11), 12173-12183. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20146>
- Ramos, R., Pabón, M. L., & Carulla, J. E. (1998). Factores nutricionales y no nutricionales que determinan la composición de la leche. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 46(2), 2-7. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/remevez/article/view/43331>
- Rosendo, P. A., & Becerril, P. C. M. (2015). Avance en el conocimiento del bovino Criollo Lechero Tropical de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5), 233-243. <https://doi.org/10.19136/era.a2n5.474>
- Rosendo, P. A., Sánchez, G. A., Ríos, O. Á., Torres, H. G., & Becerril, P. C. M. (2021). Rendimiento y composición química de la leche de vacas criollas en pastoreo y suplementadas en Ordeño Tropical. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), e1515. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1515
- Saha, S., Amalfitano, N., Bittante, G., & Gallo, L. (2020). Milk coagulation traits and cheese yields of purebred Holsteins and 4 generations of 3-breed rotational crossbred cows from Viking Red, Montbéliarde, and Holstein bulls. *Journal of Dairy Science*, 103(4), 3349-3362. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17576>
- Sanjayan, I., Lopez-Villalobos, N., Blair, H. T., Janssen, P. W. M., Holroyd, S. E., & MacGibbon, A. K. H. (2022). Effect of breed on the fatty acid composition of milk from dairy cows milked once and twice a day in different stages of lactation. *Dairy*, 3(3), 608-621. <https://doi.org/10.3390/dairy3030043>
- Schmidt, G. H., & Van Vleck, L. D. (1976). Bases científicas de la producción lechera (P. Ducar, Trad.). Zaragoza: Acribia.
- Schwendel, B. H., Wester, T. J., Morel, P. C. H., Tavendale, M. H., Deadman, C., Shadbolt, N. M., & Otter, D. E. (2015). Organic and conventionally produced milk—An

- evaluation of factors influencing milk composition. *Journal of Dairy Science*, 98(2), 721-746. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8389>
- SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social). (2007). Manual de normas de control de calidad de leche cruda (6ª Revisión). *Liconsa*, pp. 1-28.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Cierre Pecuário. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- Sorensen, A., Muir, D. D., & Knight, C. H. (2008). Extended lactation in dairy cows: Effects of milking frequency, calving season and nutrition on lactation persistency and milk quality. *Journal of Dairy Research*, 75(1), 90-97. <https://doi.org/10.1017/S0022029907002944>
- Stocco, G., Cipolat-Gotet, C., Bobbo, T., Cecchinato, A., & Bittante, G. (2017). Breed of cow and herd productivity affect milk composition and modeling of coagulation, curd firming, and syneresis. *Journal of Dairy Science*, 100(1), 129-145. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11662>
- Stocco, G., Cipolat-Gotet, C., Gasparotto, V., Cecchinato, A., & Bittante, G. (2018). Breed of cow and herd productivity affect milk nutrient recovery in curd, and cheese yield, efficiency and daily production. *Animal*, 12(2), 434-444. <https://doi.org/10.1017/S1751731117001471>
- Villegas De G., A., Santos M., A., & Cervantes E., F. (2016). Los Quesos Mexicanos Tradicionales. Universidad Autónoma Chapingo, Juan Pablos Editor.
- WingChing-Jones, R., & Mora C. E. (2015). Condiciones ambientales y calidad de la leche cruda de un hato Jersey especializado en el trópico húmedo de Costa Rica. *UNED Research Journal/Cuadernos de Investigación UNED*, 7(2), 165-171.
- WingChing-Jones, R., & Mora C. E. (2019). Effect of water addition on freezing point and components of raw milk from Jersey and Holstein cows. *UNED Research Journal*, 11(3), 313-319. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i3.2609>

3. EFECTO DEL GENOTIPO Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE EN EL RENDIMIENTO DE QUESO FRESCO DE UN HATO EN PASTOREO

3.1 Resumen

La composición de la leche y su rendimiento para elaborar productos lácteos son aspectos de importancia económica para la industria ganadera y de importancia nutricional para los consumidores de leche y productos lácteos. El objetivo del estudio fue evaluar el impacto del genotipo de la vaca y la composición de la leche en la producción de queso fresco de un hato en pastoreo. Se monitoreó la producción y se analizaron muestras individuales de vacas Jersey (J, $n = 10$), y sus cruces con Holstein-Friesian (HFxJ, $n = 19$) y Criollo Lechero Tropical (CLTxJ, $n = 3$) en dos sesiones de ordeño. Se determinó la composición fisicoquímica, junto con la producción diaria por vaca de cada componente. Las muestras tomadas durante el ordeño matutino se utilizaron para estimar la producción y composición de queso fresco. Los datos se analizaron ajustando un modelo de coeficientes aleatorios. El genotipo afectó a todos los componentes de la leche ($p < 0.0001$). La leche proveniente de vacas CLTxJ presentó mayor contenido de sólidos que los otros genotipos. Los genotipos J y HFxJ obtuvieron mayor producción diaria de leche que el genotipo CLTxJ. Los quesos elaborados presentaron contenidos similares de sólidos totales para todos los genotipos y no hubo diferencias para el rendimiento en queso entre genotipos. La edad de la vaca al parto es un factor que afecta la composición de la leche de los genotipos evaluados. Los ingresos diarios más altos por vaca se obtuvieron cuando la leche se vendió transformada en queso fresco. Se concluye que, para vacas lecheras pastoreando praderas mixtas de clima templado, el genotipo de la vaca tiene un impacto significativo en la producción y composición de la leche, y representa una oportunidad para mejorar la calidad de los productos lácteos.

Palabras clave: Jersey, cruces, composición de leche, rendimiento de queso.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal.

Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Guadalupe Domínguez Peregrino

Director: José Guadalupe García Muñiz

EFFECT OF GENOTYPE AND MILK COMPOSITION ON THE YIELD OF FRESH CHEESE FROM A GRAZING HERD

3.2 Abstract

The composition of milk and its performance in making dairy products are of economic importance to the livestock industry and of nutritional importance to consumers of milk and dairy products. The aim of this study was to evaluate the impact of cow genotype and milk composition on the production of fresh cheese from a grazing herd. Production was monitored and individual samples of Jersey cows (J, n = 10), and their crosses with Holstein-Friesian (HFxJ, n = 19) and Criollo Lechero Tropical (CLTxJ, n = 3) were analyzed in two milking sessions. The physicochemical composition was determined, along with the daily production per cow of each component. Samples taken during morning milking were used to estimate the production and composition of fresh cheese. The data were analyzed by fitting a random coefficients model. Genotype affected all milk components ($p < 0.0001$). Milk from CLTxJ cows showed higher solids content than the other genotypes. The J and HFxJ genotypes obtained higher daily milk production than the CLTxJ genotype. The processed cheeses presented similar protein and total solid contents for all genotypes, and there were no differences in cheese yield between genotypes. The age of the cow at calving is a factor that affects the milk composition of the genotypes evaluated. The highest daily income per cow was obtained when the milk was sold transformed into fresh cheese. It is concluded that, for dairy cows grazing mixed temperate pastures, the cow's genotype has a significant impact on milk production and composition, and represents an opportunity to improve the quality of dairy products.

Key words: Jersey, crosses, milk composition, fresh cheese yield.

3.3 Introducción

Para la industria láctea, la composición de la leche y el rendimiento en la producción de diversos productos lácteos son aspectos de vital importancia desde una perspectiva económica como nutricional. En este ámbito, la calidad de la leche desempeña un papel primordial y está vinculada al porcentaje de sus componentes, tales como la grasa, la proteína y sólidos totales, así como a parámetros físicos como densidad, acidez, punto de congelación, entre otros (Kelly & Bach, 2010).

Se ha observado que el genotipo de las vacas lecheras puede influir significativamente en el rendimiento quesero, por lo que el mejoramiento genético ha desempeñado un papel crucial en la evolución del sector lácteo, permitiendo a los productores seleccionar y criar animales con características deseables para la producción de leche y su transformación eficiente en derivados lácteos como queso.

Existen diversos estudios que consideran a la raza Holstein como la más alta productora de leche de todas las razas de bovinos productores de leche. Sin embargo, la raza Jersey, conocida por su alto contenido de sólidos, podría ofrecer ventajas en términos de rendimiento quesero, obteniéndose productos con características específicas, mayor contenido graso, coloración amarilla, y tiempos de elaboración más cortos (Bland et al., 2015; Frederiksen et al., 2011).

Al mismo tiempo, se ha buscado hacer el uso eficiente de los recursos naturales para la producción pecuaria, por lo que se ha trabajado con animales adaptados a las condiciones locales y posiblemente portadores de características genéticas únicas. Este es el caso del ganado bovino Criollo Lechero Tropical, que plantea interrogantes sobre su potencial en la producción lechera y quesera (Rosendo & Becerril, 2015; Rosendo et al., 2021).

En varios estudios se han explorado los factores que influyen en la composición de la leche y el queso resultante (Bergamaschi et al., 2016; Bittante et al., 2015; Cipolat-Gotet et al., 2020). La literatura informa efectos de numerosos factores, incluida la raza, número y etapa de lactancia, el estado de salud de la ubre,

estrategias de alimentación, ordeño y prácticas de manejo (Priyashantha & Lundh, 2021), pero sobretodo han despertado interés aquellos que tienen implicaciones técnicas y económicas en la industria láctea (Varotto et al., 2015).

Estudios que evalúen de forma individual las propiedades tecnológicas de la leche, contribuyen a examinar otras fuentes importantes de variación. Esto permitiría evaluar el potencial de algunos de estos rasgos novedosos como indicadores para el desarrollo de sistemas de pago basados en la calidad de la leche y la capacidad de elaboración de queso (Cipolat-Gotet et al., 2020; De Marchi et al., 2007).

Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron evaluar el efecto del genotipo en la composición fisicoquímica de la leche y el rendimiento quesero de vacas manejadas en pastoreo; estimar la producción ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$) de leche, grasa, proteína y sólidos totales; y estimar los ingresos por concepto de venta de leche o queso fresco.

3.4 Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el módulo de producción de leche orgánica en pastoreo de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México (región de Altiplano Central de México), ubicado geográficamente en las coordenadas 19°29' LN y 98°53' LW, a una altura de 2250 msnm; el clima se clasifica como templado subhúmedo, con temperatura media anual de 17.2 °C y precipitación anual de 598.6 mm (CONAGUA, 2024).

El área de pastoreo consta de 23 ha, compuestas de cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) en asociación con pastos ballico perenne (*Lolium perenne*), ballico anual (*Lolium multiflorum*) y ovillo (*Dactylis glomerata*). Durante el periodo experimental a las vacas se le proporcionó agua a libre acceso y no se les suministró alimento suplementario adicional.

Durante el experimento, las vacas pasaron la mayor parte del tiempo en las praderas, regresando dos veces al día para el ordeño mecánico en una sala tipo paralelo, con seis unidades de ordeño y medidores individuales de leche tipo

Waikato. El procedimiento de ordeña inició con el lavado de la ubre, colocación del presello y sello al finalizar el ordeño.

3.4.1 Toma de muestras y análisis de laboratorio

El periodo de muestreo se realizó de abril a junio del 2023. Se utilizaron las 32 vacas lactantes disponibles en el periodo experimental. Tres vacas fueron cruza de Criollo Lechero Tropical con Jersey del biotipo de Nueva Zelanda (CLTxJ), 19 vacas cruzadas de los biotipos de Nueva Zelanda Holstein-Friesian y Jersey (HxJ) y 10 vacas puras Jersey (J). La producción promedio al inicio del periodo experimental fue de 11 litros de leche vaca⁻¹ día⁻¹. Se colectaron semanalmente muestras individuales de leche por vaca en medidores de leche tipo Waikato®. Se utilizaron viales estériles de 60 mL y se procesaron en el laboratorio del Posgrado en Producción Animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Para el análisis de las muestras de leche de vacas individuales se utilizó un analizador de infrarrojo Milkoscan®-FT120-FOSS y se determinaron los sólidos totales (g L⁻¹), sólidos no grasos (g L⁻¹), grasa (g L⁻¹) y proteína (g L⁻¹).

El día de muestreo se registró la fecha y producción de leche individual, y a partir de esta información se obtuvieron la edad y los días en leche de cada animal, de acuerdo con las fechas de nacimiento y de parto. La producción de grasa, proteína y sólidos totales de cada vaca por ordeño se obtuvo de la siguiente forma:

Producción del componente lácteo (kg) = leche producida en litros*(% del componente en leche/100)

Adicionalmente, cada dos semanas se tomó una muestra de un litro de leche por vaca en el ordeño de la mañana para la elaboración de queso fresco. Las muestras de queso de vacas individuales se pesaron para registrar rendimiento y posteriormente se analizaron mediante un equipo FoodScan™-FOSS con el cual se determinaron porcentajes de grasa, humedad, proteína, sal y sólidos totales. El rendimiento de los quesos se obtuvo de la siguiente forma:

Rendimiento (%) = [queso obtenido (kg)/leche utilizada (litros)]*100

Los ingresos y costos (\$MXN) se calcularon con datos correspondientes al mes de agosto del 2023.

3.4.2 Análisis estadístico

Los datos de composición fisicoquímica de la leche, de producción diaria de leche y componentes, así como las variables relacionadas con rendimiento y composición de queso fresco, se analizaron ajustando un modelo de coeficientes aleatorios. Cada una de las variables analizadas se modeló como función del día de lactancia. Se registraron adicionalmente las fechas de nacimiento y de parto de todas las vacas utilizadas en el experimento. Se calculó la edad de la vaca al parto y, en los modelos respectivos, se ajustaron sus efectos lineal y cuadrático, en caso de ser significativos. Para las variables relacionadas con rendimiento y composición de queso fresco también se ajustó como covariable la producción de leche de la vaca en el día de muestreo. Para algunas de las variables analizadas, se removieron los términos del modelo que no fueron significativos. El modelo estadístico completo se describe a continuación.

$$y_{ijk} = \beta_{0i} + \beta_{1i}T_k + \beta_{2i}T_k^2 + \beta_{3i}T_k^3 + b_{1:1}(x_{1ijk} - \mu_1) + b_{2:1}(x_{1ijk} - \mu_1)^2 + b_{1:2}(x_{2ijk} - \mu_2) + b_{2:2}(x_{2ijk} - \mu_2)^2 + \alpha_{0ij} + \alpha_{1ij}T_k + e_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} es el registro de la variable de respuesta modelada, generado por la vaca j , del genotipo i , en el día k del experimento ($k_1 = 0$).

$\beta_{0i}, \beta_{1i}, \beta_{2i}, \beta_{3i}$ son, respectivamente, para el i -ésimo genotipo, los coeficientes de la regresión fija de cualquiera de las variables de respuesta modeladas, sobre el día de lactancia, para el intercepto, la pendiente lineal, la pendiente cuadrática y la pendiente cúbica.

T_k, T_k^2, T_k^3 es la variable independiente relacionada con el tiempo (día de lactancia), el tiempo al cuadrado y el tiempo al cubo.

$b_{1:1}, b_{2:1}, b_{1:2}, b_{2:2}$ son, respectivamente, los coeficientes de regresión del efecto lineal y cuadrático, de las covariables, edad de la vaca al parto (años) y producción de leche ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en el día de muestreo.

x_{1ijk}, x_{2ijk} son, respectivamente, los valores observados de las covariables edad de la vaca al parto (años) y producción de leche ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en

	el día de muestreo, para la vaca j , del genotipo i , en el día k de lactancia.
μ_1, μ_2	son, respectivamente, los valores promedio de las covariables edad de la vaca al parto (años) y producción de leche ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en el día de muestreo.
$\alpha_{0ij}, \alpha_{1ij}$	son, respectivamente, el intercepto y la pendiente lineal de la regresión aleatoria de la j -ésima vaca, anidada en el i -ésimo genotipo, de cualquiera de las variables de respuesta modeladas sobre el tiempo (día de lactancia).
$\begin{bmatrix} \alpha_{0ij} \\ \alpha_{1ij} \end{bmatrix} \sim \left\{ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sigma_{\alpha_0}^2 & \sigma_{\alpha_0\alpha_1} \\ \sigma_{\alpha_0\alpha_1} & \sigma_{\alpha_1}^2 \end{bmatrix} \right\}$	
e_{ijk}	residual $\sim \text{NIID } (0, \sigma_e^2)$

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Estadísticos descriptivos de las variables registradas en el estudio

El Cuadro 3 contiene los estadísticos descriptivos de las variables registradas y generadas en el experimento a través de genotipos de las vacas. Por la cantidad de observaciones, se formaron dos grupos de variables. El grupo con más observaciones ($n = 299$) correspondió a las variables relacionadas con producción y composición de la leche. El tamaño de la muestra para el grupo de variables relacionadas con la composición y el rendimiento de la leche para elaborar queso se redujo a menos de la mitad ($n = 142$) del tamaño de las del primer grupo. Con excepción de la variable “día de lactancia” y, a juzgar por los valores muy similares de la media y la mediana de las demás variables, se asume distribución normal para la mayoría de las variables registradas y generadas en este estudio.

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos para variables registradas en el periodo experimental.

Variable	N	Mín.	Máx.	Media	Med.	Desv. est	C.V (%)
Día de lactancia	299	4.0	485.0	173.9	134.0	128.1	73.7
Edad de la vaca al parto (años)	299	2.6	14.4	5.9	5.2	2.7	45.2
Grasa en leche (%)	297	2.2	7.3	4.4	4.4	0.86	19.3
Proteína en leche (%)	298	2.6	5.0	4.0	4.0	0.51	12.6
Sólidos no grasos en leche (%)	298	7.7	10.6	9.3	9.3	0.53	5.7
Sólidos totales en leche (%)	299	10.8	21.1	14.1	14.0	1.37	9.7
Producción de leche (litros vaca ⁻¹ día ⁻¹)	293	4.0	20.0	11.7	11.0	3.55	30.5
Producción de grasa (kg ⁻¹ vaca ⁻¹ día ⁻¹)	297	0.18	1.10	0.52	0.48	0.18	34.5
Producción de proteína (kg ⁻¹ vaca ⁻¹ día ⁻¹)	298	0.17	0.83	0.47	0.46	0.13	28.0
Producción de sólidos totales (kg ⁻¹ vaca ⁻¹ día ⁻¹)	298	0.57	3.10	1.65	1.56	0.51	31.0
Humedad del queso (%)	142	51.2	81.3	65.9	65.6	7.1	10.8
Cenizas en el queso (%)	142	0.5	1.6	1.0	0.9	0.2	18.7
Grasa en el queso (%)	142	3.0	27.5	12.4	12.0	5.4	43.6
Proteína en el queso (%)	142	9.4	29.4	18.0	18.4	4.2	23.3
Sólidos totales en el queso (%)	142	18.7	48.8	34.1	34.4	7.1	20.9
Rendimiento quesero (g de queso por litro de leche)	142	44.0	369.0	164.0	146.0	68.3	41.6
Eficiencia de transformación (litros de leche por kg de queso)	142	2.7	22.7	7.2	6.9	3.2	44.1
Producción de queso (kg ⁻¹ vaca ⁻¹ día ⁻¹)	142	0.4	5.4	1.9	1.8	0.9	46.1
Ingreso cuando se vende leche (\$MXN ¹ vaca ⁻¹ día ⁻¹)	142	42.0	220.5	125.3	126.0	36.5	29.2
Ingreso cuando se vende queso (\$MXN ¹ vaca ⁻¹ día ⁻¹)	142	39.6	535.5	191.5	180.4	88.3	46.1
Costo de la leche para elaborar queso (\$MXN ¹ vaca ⁻¹ día ⁻¹)	142	28.5	238.6	75.5	71.9	33.3	44.1

Estos resultados son similares a los obtenidos de investigaciones previas en la región sobre la composición de leche a granel proveniente de cruza con Holstein-Friesian, donde se reportaron valores de 3.4 ± 0.3 % de grasa, 3.5 ± 0.2 % de proteína y 12.35 ± 0.7 % de sólidos totales (Bernal et al., 2007). En condiciones parecidas a las del presente estudio, se observaron porcentajes de 4.9 ± 0.10 de

grasa, 3.9 ± 0.04 de proteína y 14.2 ± 0.13 de sólidos totales (Castillo, 2007), cifras que guardan similitud con las reportadas por Heishberger (2012) de 5.0 ± 1.4 %, 3.9 ± 0.4 % y 14.4 ± 1.6 % para grasa, proteína y sólidos totales, respectivamente. Además, Paredes (2014) encontró resultados similares para la cruce de Jersey x Holstein, con promedios de 5.02 ± 1.35 % de grasa, 3.79 ± 0.50 % de proteína y una producción media de leche de $13 \text{ kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

Las diferencias observadas entre estos últimos estudios y el presente trabajo se atribuyen principalmente al número diferente de animales y cruces utilizadas durante el período de muestreo. En relación con los genotipos estudiados, estos presentan potencial para producir leche con sólidos totales mayores al 13 %.

3.5.2 Variables de composición de la leche

En los Cuadros 4 y 5 se presentan los niveles de probabilidad (significancia), así como los estimadores de los coeficientes de la regresión fija de los modelos de mejor ajuste para las variables relacionadas con los porcentajes de grasa, proteína, sólidos no grasos y sólidos totales de la leche de los tres genotipos estudiados. En el Cuadro 5 también se incluyen los estimadores de los coeficientes de regresión de la covariable significativa edad de la vaca al parto (lineal y cuadrático), ajustada en los modelos de grasa (%), sólidos no grasos (%), y sólidos totales (%). En las Figuras 1 y 2 se despliegan gráficamente los valores observados, las líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca, así como las líneas estimadas de las regresiones aleatorias por vaca, para cada una de las variables de composición de la leche.

Solo el porcentaje de proteína en leche requirió del ajuste de un modelo con efecto cuadrático y cúbico de la variable independiente. Los porcentajes de grasa, sólidos no grasos y sólidos totales se ajustaron todos con un mismo modelo que incluyó los efectos del intercepto, la pendiente lineal, y los efectos lineal y cuadrático de la covariable edad de la vaca al parto.

Cuadro 4. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y las covariables significativas del modelo de mejor ajuste, para variables de composición de la leche de tres genotipos bovinos manejados en pastoreo en Chapingo, Estado de México.

Efecto ^z	Coeficiente en el modelo	Variable			
		Grasa (%)	Proteína (%)	SNG (%)	Sólidos Totales (%)
Genotipo					
CLTxJ	β_{01}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
HFxJ	β_{02}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
J	β_{03}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Genotipo x Tiempo					
(CLTxJ)*T	β_{11}	0.4303	0.0157	0.0038	0.2984
(HFxJ)*T	β_{12}	0.9942	0.1082	0.3048	0.7933
(J)*T	β_{13}	0.4058	0.1224	0.6204	0.1414
Genotipo x (Tiempo) ²					
(CLTxJ)*T ²	β_{21}	-----	0.0054	-----	-----
(HFxJ)*T ²	β_{22}	-----	0.0208	-----	-----
(J)*T ²	β_{23}	-----	0.0457	-----	-----
Genotipo x (Tiempo) ³					
(CLTxJ)*T ³	β_{31}	-----	<.0001	-----	-----
(HFxJ)*T ³	β_{32}	-----	<.0001	-----	-----
(J)*T ³	β_{33}	-----	<.0001	-----	-----
Edad de la vaca al parto					
Lineal		0.0235	-----	0.0457	0.0099
Cuadrático		0.0002	-----	0.0030	<.0001

^zCLTxJ = Criollo Lechero Tropical x Jersey; HxJ = Holstein-Friesian x Jersey; J = Jersey.

Cuadro 5. Coeficientes ($\pm$ error estándar) de la regresión fija por genotipo de la vaca para porcentaje de grasa, proteína, sólidos no grasos y sólidos totales en leche, durante el experimento.

Parámetro de la regresión fija para genotipo de la vaca ^y					Covariables significativas ^z			
Genotipo ^x	β_0	β_1	β_2	β_3	Leche	Leche ²	Edad	Edad ²
Grasa en leche (%)								
CLTxJ	5.80 $\pm$ 0.76 ^a	-0.003 $\pm$ 0.0040	-----	-----				
HxJ	4.32 $\pm$ 0.22 ^b	7.0E-6 $\pm$ 0.0001	-----	-----	-----	-----	0.11 $\pm$ 0.05	-0.03 $\pm$ 0.007
J	4.80 $\pm$ 0.31 ^{ab}	0.0001 $\pm$ 0.001	-----	-----				
Proteína en leche (%)								
CLTxJ	5.32 $\pm$ 0.47 ^a	-0.007 $\pm$ 0.007	5.9E-5 $\pm$ 2.1E-5	-6.8E-8 $\pm$ 0.0				
HxJ	3.80 $\pm$ 0.17 ^b	-0.005 $\pm$ 0.008	5.3E-5 $\pm$ 2.3E-5	-8.8E-8 $\pm$ 0.0	-----	-----	-----	-----
J	4.09 $\pm$ 0.19 ^b	-0.009 $\pm$ 0.006	7.4E-5 $\pm$ 3.7E-5	-1.3E-7 $\pm$ 0.0				
Sólidos no grasos en leche (%)								
CLTxJ	10.5 $\pm$ 0.33 ^a	-0.0026 $\pm$ 0.0009	-----	-----				
HxJ	9.3 $\pm$ 0.15 ^b	-0.0010 $\pm$ 0.0010	-----	-----	-----	-----	0.08 $\pm$ 0.02	-0.02 $\pm$ 0.007
J	9.6 $\pm$ 0.16 ^b	-0.0007 $\pm$ 0.0015	-----	-----				
Sólidos totales en leche (%)								
CLTxJ	16.7 $\pm$ 0.89 ^a	-0.0047 $\pm$ 0.0045	-----	-----				
HxJ	14.0 $\pm$ 0.39 ^b	-0.0005 $\pm$ 0.0018	-----	-----	-----	-----	0.20 $\pm$ 0.08	-0.06 $\pm$ 0.01
J	14.7 $\pm$ 0.47 ^b	0.0025 $\pm$ 0.0017	-----	-----				

^xCLTxJ = Criollo Lechero Tropical x Jersey; HxJ = Holstein-Friesian x Jersey; J = Jersey.

^yDentro de variable y coeficiente, medias con diferente literal, son diferentes ($p < 0.05$; Tukey).

^zLeche: producción de leche (litros vaca⁻¹ día⁻¹); Leche²: Leche al cuadrado; Edad: Edad de la vaca al parto (años); Edad²: Edad al cuadrado.

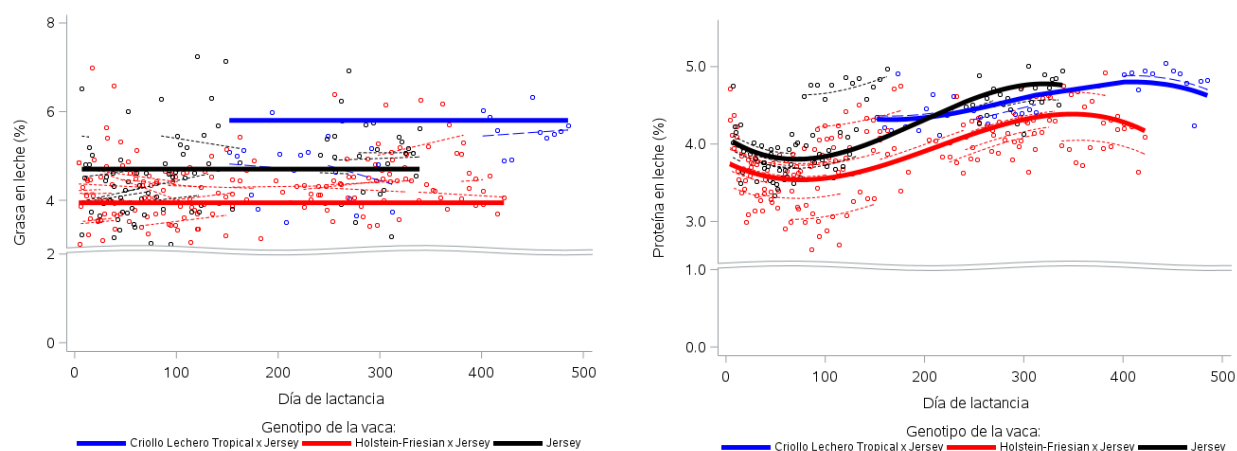


Figura 1. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para porcentaje de grasa (izquierda) y porcentaje de proteína en leche (derecha) de vacas de tres genotipos bovinos alimentados en pastoreo.

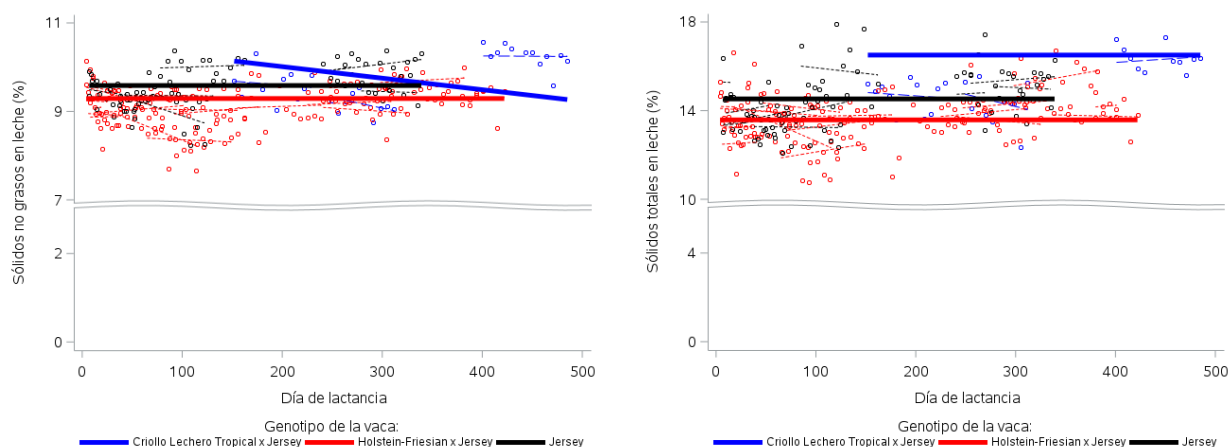


Figura 2. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para porcentaje de sólidos no grasos (izquierda) y porcentaje de sólidos totales en leche (derecha) de vacas de tres genotipos bovinos alimentados en pastoreo.

Los contrastes para las comparaciones del intercepto de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (Cuadro 5), así como los despliegues visuales del modelo de mejor ajuste para cada una de las variables modeladas (Figuras 1 y 2), indican que las hembras del genotipo CLT x J mostraron trayectorias promedio más altas que los otros dos genotipos estudiados.

Los resultados de los genotipos utilizados en este estudio indican la capacidad de estas cruzas para producir leche con un contenido cercano al 5 % de grasa, característico de la raza Jersey, además de alto contenido de sólidos, lo que ofrece posibles ventajas en la transformación de leche en distintos tipos de derivados lácteos.

El genotipo afectó a todos los componentes de la leche ($p < 0.0001$) favoreciendo con mejores porcentajes a la craza CLTxJ. En ese tenor, Bland et al. (2015) registró la composición de leche Holstein-Friesian mezclada con Jersey (0, 25, 50, 75 y 100 %) y encontró que dicha composición fue mayor ($p < 0.01$) cuando se utilizaba leche de Jersey, lo que resulta similar a los resultados obtenidos para la craza CLTxJ.

La edad de la vaca al parto influyó en los porcentajes de grasa, sólidos no grasos y sólidos totales. WingChing-Jones y Mora (2015) mencionan que el efecto significativo ($p < 0.05$) de la edad del animal en la composición de la leche de vacas Jersey en pastoreo se debe a un proceso de adaptación al manejo del sistema de producción. En los tres casos que la covariable edad de la vaca al parto fue importante, ésta describió una trayectoria cuadrática creciente, alcanzando un máximo a una edad de la vaca de alrededor de 2.2 años.

En trabajos similares donde se han comparado razas locales con vacas más productivas como la Holstein, se ha destacado similitud en la calidad de leche de ambos genotipos. Tal es el caso de la raza local Rendena al noreste de Italia, que presenta un contenido ligeramente mayor de proteína y caseína, pero menor contenido de grasa y valores muy similares de células somáticas y pH que las vacas Holstein (Varotto et al., 2015).

3.5.3 Variables de producción de leche y componentes

En los Cuadros 6 y 7 se presentan los niveles de probabilidad (significancia) así como los estimadores de los coeficientes de la regresión fija de los modelos de mejor ajuste para las variables relacionadas con producción de leche, grasa, proteína y sólidos totales de la leche de los tres genotipos estudiados. En el Cuadro 7 también se incluyen los estimadores de los coeficientes de regresión de la covariable significativa edad de la vaca al parto (lineal y cuadrático), ajustada en los modelos de producción diaria de proteína ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$) y sólidos totales de leche ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$). En las Figuras 3 y 4 se despliegan gráficamente los valores observados, las líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca, así como las líneas estimadas de las regresiones aleatorias por vaca, para cada una de las variables de producción de la leche y componentes.

Las cuatro variables de producción diaria de leche, grasa, proteína y sólidos totales requirieron del ajuste de un modelo con efecto lineal y cuadrático de la variable independiente. El efecto lineal y cuadrático de la covariable edad de la vaca al parto sólo fue importante para las producciones diarias de proteína y sólidos totales en leche.

En los dos casos que la covariable edad de la vaca al parto fue importante, ésta describió una trayectoria cuadrática creciente, alcanzando un máximo a una edad de la vaca de alrededor de 2.8 y 2.3 años para las producciones diarias de proteína y sólidos totales, respectivamente.

Cuadro 6. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y las covariables significativas del modelo de mejor ajuste, para variables de producción de leche y componentes de tres genotipos bovinos manejados en pastoreo en Chapingo, Estado de México..

Efecto ^a	Coeficiente en el modelo	Variable			
		Producción de leche (kg ⁻¹ vaca ⁻¹ d ⁻¹)	Producción de grasa (kg ⁻¹ vaca ⁻¹ d ⁻¹)	Producción de proteína (kg ⁻¹ vaca ⁻¹ d ⁻¹)	Producción de sólidos de leche (kg ⁻¹ vaca ⁻¹ d ⁻¹)
Genotipo					
CLTxJ	β_{01}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
HFxJ	β_{02}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
J	β_{03}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Genotipo x Tiempo					
(CLTxJ)*T	β_{11}	0.0372	0.0372	0.2097	0.0544
(HFxJ)*T	β_{12}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
(J)*T	β_{13}	0.0065	0.0065	0.0013	0.0032
Genotipo x (Tiempo) ²					
(CLTxJ)*T ²	β_{21}	<.0001	<.0001	<.0001	0.1606
(HFxJ)*T ²	β_{22}	0.0003	0.0037	<.0001	<.0001
(J)*T ²	β_{23}	0.1089	0.2619	0.0428	0.1532
Edad de la vaca al parto					
Lineal		-----	-----	0.0008	0.0019
Cuadrático		-----	-----	<.0001	<.0001

^aCLTxJ = Criollo Lechero Tropical x Jersey; HxJ = Holstein-Friesian x Jersey; J = Jersey.

Cuadro 7. Coeficientes ($\pm$ error estándar) de la regresión fija por genotipo de la vaca para producción diaria de leche, grasa, proteína y sólidos totales, durante el experimento.

Genotipo ^x	Parámetro de la regresión fija para genotipo de la vaca ^y			Covariables significativas ^z			
	β_0	β_1	β_2	Leche	Leche ²	Edad	Edad ²
Producción de leche ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$)							
CLTxJ	13.5 ± 0.91^b	-0.013 ± 0.006	$-2.0\text{E}-5 \pm 2.2\text{E}-6$	-----	-----	-----	-----
HxJ	16.6 ± 0.82^a	-0.047 ± 0.009	$7.7\text{E}-5 \pm 2.1\text{E}-5$	-----	-----	-----	-----
J	16.4 ± 1.30^{ab}	-0.056 ± 0.020	$1.0\text{E}-4 \pm 6.3\text{E}-5$	-----	-----	-----	-----
Producción de grasa ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$)							
CLTxJ	0.620 ± 0.12	$-2.9\text{E}-4 \pm 7.3\text{E}-4^b$	$-1.6\text{E}-6 \pm 6.0\text{E}-6^b$	-----	-----	-----	-----
HxJ	0.725 ± 0.07	$-2.8\text{E}-3 \pm 8.1\text{E}-4^a$	$5.9\text{E}-6 \pm 2.0\text{E}-6^a$	-----	-----	-----	-----
J	0.755 ± 0.08	$-2.3\text{E}-3 \pm 1.1\text{E}-3^a$	$3.7\text{E}-6 \pm 3.3\text{E}-6^a$	-----	-----	-----	-----
Producción de proteína ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$)							
CLTxJ	0.729 ± 0.09	$-7.4\text{E}-4 \pm 5.9\text{E}-4$	$-8.9\text{E}-7 \pm 0.000$	-----	-----	0.028 ± 0.008	-0.005 ± 0.001
HxJ	0.716 ± 0.04	$-2.4\text{E}-3 \pm 3.3\text{E}-4$	$4.5\text{E}-6 \pm 0.000$	-----	-----		
J	0.681 ± 0.04	$-2.3\text{E}-3 \pm 7.1\text{E}-4$	$5.0\text{E}-6 \pm 2.5\text{E}-6$	-----	-----		
Producción de sólidos de leche ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$)							
CLTxJ	3.549 ± 0.76	-0.011 ± 0.006	$1.2\text{E}-5 \pm 8.6\text{E}-6$	-----	-----	0.086 ± 0.027	-0.019 ± 0.004
HxJ	2.630 ± 0.12	-0.008 ± 0.001	$1.3\text{E}-5 \pm 3.2\text{E}-6$	-----	-----		
J	2.540 ± 0.18	-0.008 ± 0.003	$1.2\text{E}-5 \pm 8.5\text{E}-6$	-----	-----		

^xCLTxJ = Criollo Lechero Tropical x Jersey; HxJ = Holstein-Friesian x Jersey; J = Jersey.

^yDentro de variable y coeficiente, medias con diferente literal, son diferentes ($p < 0.05$; Tukey).

^zLeche: producción de leche ($\text{litros vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$); Leche²: Leche al cuadrado; Edad: Edad de la vaca al parto (años); Edad²: Edad al cuadrado.

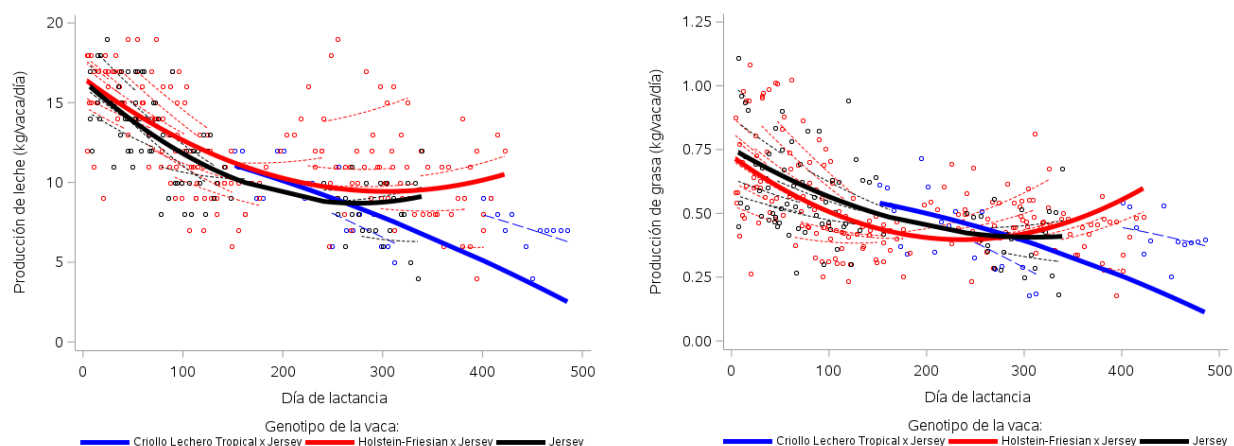


Figura 3. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para producción diaria de leche (izquierda) y para producción diaria de grasa (derecha) de vacas de tres genotipos bovinos alimentadas en pastoreo.

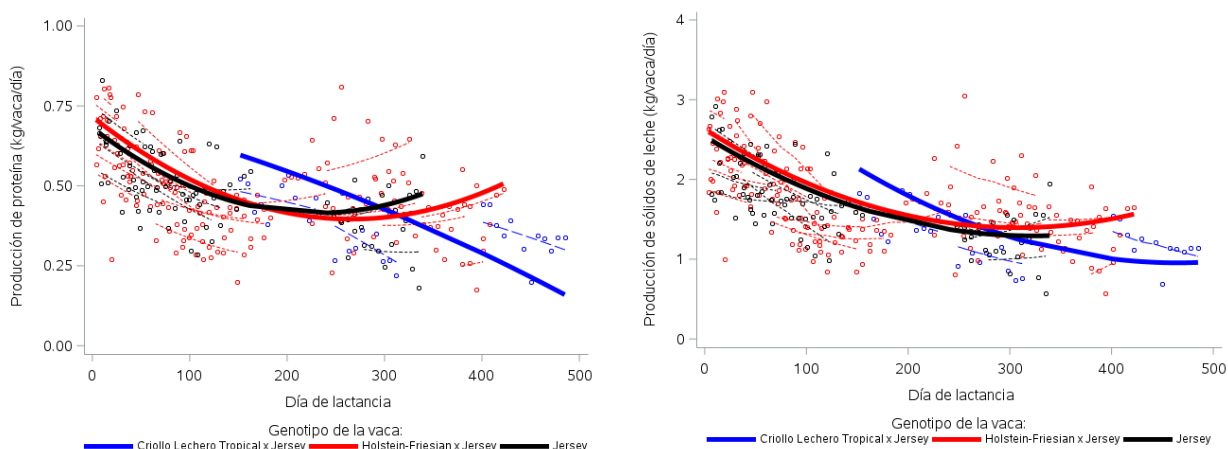


Figura 4. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para producción diaria de proteína (izquierda) y producción diaria de sólidos (derecha) en leche de vacas de tres genotipos bovinos alimentadas en pastoreo.

Los contrastes para las comparaciones del intercepto de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (Cuadro 7), así como los despliegues visuales del modelo de mejor ajuste para cada una de las variables modeladas (Figuras 3 y 4), indican que, durante el periodo experimental, las hembras del genotipo CLTxJ produjeron menos leche y componentes que las vacas de los otros dos genotipos.

Se observa que el genotipo HxJ muestra estimaciones ligeramente más altas para la producción de leche. Autores como Rosendo et al. (2021), mencionan que un incremento en la producción de leche, provoca mayor producción diaria de cada componente, tal como lo sugieren WingChing-Jones y Mora (2015), quienes indican que para vacas Jersey los sólidos totales pueden aumentar hasta 1.4 % cuando el volumen no supera los 10 litros de leche vaca⁻¹ día⁻¹.

.Aunque para esta comparación entre genotipos los animales CLTxJ fueron los de niveles más bajos para producción de grasa, superan los resultados obtenidos por trabajos anteriores para la raza criolla (Cervantes et al., 2015; Corrales, 2011; Rosendo et al., 2021), ya que se han registrado porcentajes más altos en la composición de la leche en animales cruzados que en animales puros (Bland et al., 2015; Martínez et al., 2010;).

De forma similar, Cervantes et al. (2015) destacan que la menor producción láctea y los rendimientos en sólidos más bajos se dan en hatos con ganado Criollo y Cebú, mientras que los más altos son para animales Holstein donde el fin productivo determina la afinidad por una raza u otra.

3.5.4 Variables relacionadas con la composición del queso

En los Cuadros 8 y 9 se presentan los niveles de probabilidad (significancia), así como los estimadores de los coeficientes de la regresión fija de los modelos de mejor ajuste para las variables relacionadas con características fisicoquímicas de queso fresco, como humedad (%), grasa (%), proteína (%) y sólidos totales (%), elaborado con leche de vacas individuales de los genotipos estudiados. En el Cuadro 9 también se incluye el estimador del coeficiente de regresión de la

covariable significativa edad de la vaca al parto (lineal), ajustada en el modelo para analizar la variable porcentaje de sólidos totales en el queso. En las Figuras 5, 6, 7 y 8 se despliegan gráficamente los valores observados, las líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca, así como las líneas estimadas de las regresiones aleatorias por vaca, para cada una de las variables de composición del queso.

Los porcentajes de grasa, proteína y sólidos totales en queso requirieron del ajuste de un modelo con efectos del intercepto y la pendiente lineal, mientras que el porcentaje de humedad del queso solo requirió un modelo con el ajuste del término del intercepto.

Cuadro 8. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y las covariables significativas del modelo de mejor ajuste, para variables de composición de queso fresco elaborado con leche de tres genotipos bovinos manejados en pastoreo en Chapingo, Estado de México.

Chapingo, Estado de México.

Efecto ^a	Coeficiente en el modelo	Variable			
		Humedad en el queso (%)	Grasa en el queso (%)	Proteína en el queso (%)	Sólidos totales en el queso (%)
Genotipo					
CLTxJ	β_{01}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
HFxJ	β_{02}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
J	β_{03}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Genotipo x Tiempo					
(CLTxJ)*T	β_{11}	-----	<.0001	0.0037	0.4631
(HFxJ)*T	β_{12}	-----	0.0186	0.1817	0.7786
(J)*T	β_{13}	-----	<.0001	0.3323	0.6277
Edad de la vaca al parto					
Lineal		-----	-----	-----	-----
Cuadrático		-----	-----	-----	-----
Producción de leche					
Lineal		-----	-----	-----	0.0073
Cuadrático		-----	-----	-----	-----

^aCLTxJ = Criollo Lechero Tropical x Jersey; HxJ = Holstein-Friesian x Jersey; J = Jersey.

Cuadro 9. Coeficientes ($\pm$ error estándar) de la regresión fija por genotipo de la vaca para porcentaje de grasa, proteína, sólidos no grasos y sólidos totales en leche, durante el experimento.

Genotipo ^x	Parámetro de la regresión fija para genotipo de la vaca ^y		Covariables significativas ^z			
	β_0	β_1	Leche	Leche ²	Edad	Edad ²
Humedad en el queso (%)						
CLTxJ	62.7 $\pm$ 1.18 ^b	-----				
HxJ	65.9 $\pm$ 0.49 ^a	-----	-----	-----	-----	-----
J	65.6 $\pm$ 0.86 ^a	-----				
Grasa en el queso (%)						
CLTxJ	7.4 $\pm$ 0.12 ^b	0.022 $\pm$ 0.0003 ^a				
HxJ	10.5 $\pm$ 1.04 ^a	0.009 $\pm$ 0.0037 ^b	-----	-----	-----	-----
J	10.3 $\pm$ 0.81 ^a	0.016 $\pm$ 0.0036 ^{ab}				
Proteína en el queso (%)						
CLTxJ	18.6 $\pm$ 0.39	-0.0040 $\pm$ 0.0013				
HxJ	18.6 $\pm$ 0.55	-0.0028 $\pm$ 0.0021	-----	-----	-----	-----
J	18.8 $\pm$ 0.62	-0.0055 $\pm$ 0.0057				
Sólidos totales en el queso (%)						
CLTxJ	32.7 $\pm$ 0.78	0.0037 $\pm$ 0.0050				
HxJ	33.7 $\pm$ 1.22	-0.0010 $\pm$ 0.0037	-0.444 $\pm$ 0.16	-----	-----	-----
J	33.4 $\pm$ 1.15	0.0030 $\pm$ 0.0060				

^xCLTxJ = Criollo Lechero Tropical x Jersey; HxJ = Holstein-Friesian x Jersey; J = Jersey.

^yDentro de variable y coeficiente, medias con diferente literal, son diferentes ($p < 0.05$; Tukey).

^zLeche: producción de leche (litros vaca⁻¹ día⁻¹); Leche²: Leche al cuadrado; Edad: Edad de la vaca al parto (años); Edad²: Edad al cuadrado.

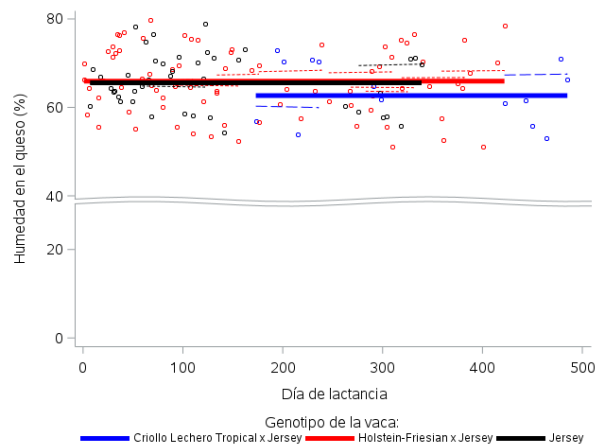


Figura 5. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para humedad (%) en queso fresco elaborado con leche de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.

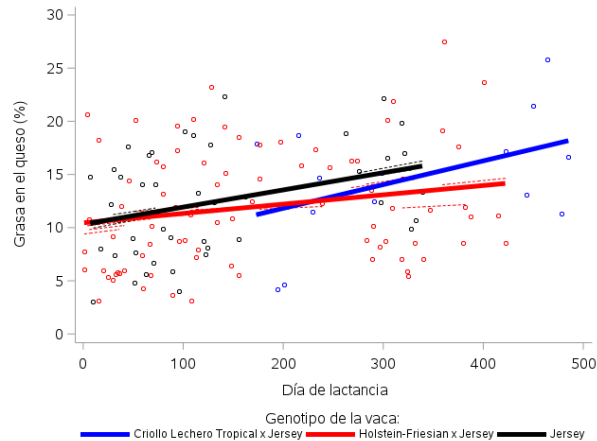


Figura 6. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para grasa (%) en queso fresco elaborado con leche de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.

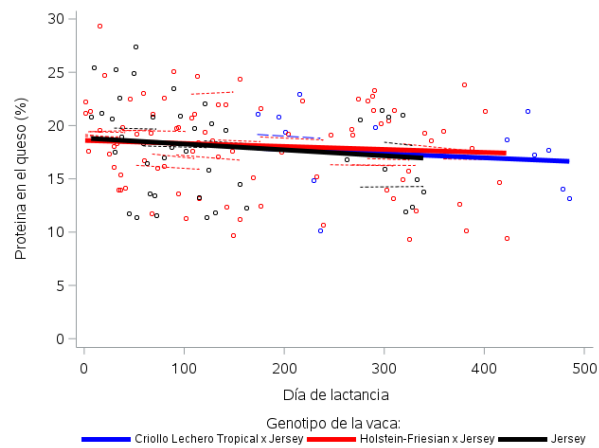


Figura 7. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para proteína (%) en queso fresco elaborado con leche de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.

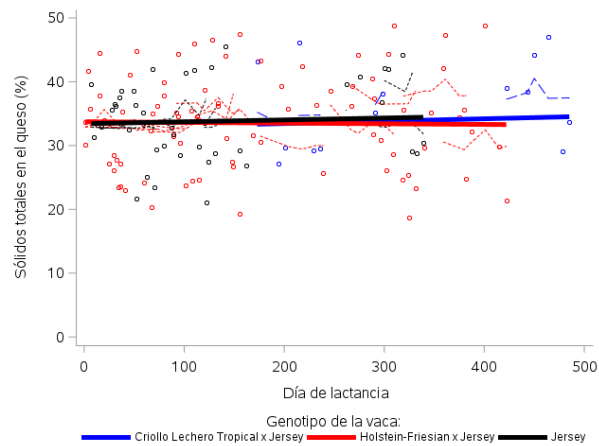


Figura 8. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para sólidos totales (%) en queso fresco elaborado con leche de vacas de tres genotipos, alimentadas en pastoreo.

Los contrastes para las comparaciones del intercepto de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (Cuadro 9), así como los despliegues visuales del modelo de mejor ajuste para cada una de las variables modeladas (Figuras 5-8) indican que, durante el periodo experimental, las hembras del genotipo CLTxJ produjeron queso con menores contenidos de humedad, menos grasa y con contenidos similares de proteína y sólidos totales que las vacas de los otros dos genotipos estudiados.

Las mayores diferencias entre genotipos fueron para la humedad y la grasa en queso; sin embargo, tuvieron valores similares para el contenido de sólidos totales en el queso, donde el efecto lineal de la covariable producción de leche ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en el día de muestreo fue importante. El coeficiente de regresión con signo negativo implica que por cada litro de leche extra que produzca la vaca en el día de muestreo, el porcentaje de sólidos totales en el queso se disminuirá en 0.444 unidades porcentuales (Cuadro 9).

Los porcentajes de proteína obtenidos en este estudio son similares a los reportados para las razas cebuinas Guzerat, Gyr y Sindi (De Olivera et al., 2021). De forma similar, la composición porcentual de los quesos realizados es semejante a la obtenida por Centeno et al. (2020) para quesos elaborados con leche agroecológica, con valor promedio de humedad de 61.35 %, grasa 10.30 % y proteína 16.12 %.

Estos datos difieren de los obtenidos en otro estudio (Díaz et al., 2017) para la zona central del Estado de México, con valores superiores para grasa y proteína; no obstante, el presente estudio revela niveles más altos de humedad para queso fresco.

La diferencia entre la composición de quesos se debe a las condiciones diferentes de producción de leche y del procesamiento de la misma. Los quesos frescos se caracterizan por su alto contenido de humedad; sin embargo, esta misma característica puede afectar la textura y el sabor del queso durante su conservación (Ramírez & Vélez, 2012).

3.5.5 Variables relacionadas con rendimiento y eficiencia de transformación de queso en ingresos

En los Cuadros 10 y 11 se presentan los niveles de probabilidad (significancia), así como los estimadores de los coeficientes de la regresión fija de los modelos de mejor ajuste para las variables relacionadas con rendimiento y eficiencia de transformación de queso y leche en ingresos. Las variables generadas fueron eficiencia de transformación de leche en queso (litros de leche por kg de queso fresco), producción diaria de queso fresco ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$), ingreso bruto cuando la venta es sólo leche ($\$ \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$) e ingreso bruto cuando la venta es sólo queso ($\$ \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

En el Cuadro 11 también se incluyen los estimadores de los coeficientes de regresión de las covariables significativas de edad de la vaca al parto (lineal) y producción diaria de leche en el día de muestreo (lineal y cuadrático), ajustadas en el modelo para analizar las variables producción diaria de queso fresco ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$), ingreso bruto cuando la venta es sólo leche ($\$ \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$) e ingreso bruto cuando la venta es sólo queso ($\$ \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

En las Figuras 9, 10 y 11 se despliegan gráficamente los valores observados, las líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca, así como las líneas estimadas de las regresiones aleatorias por vaca, para cada una de las variables modeladas.

Las variables producción diaria de queso fresco ($\text{kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$), ingreso bruto cuando la venta es sólo leche ($\$ \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$) e ingreso bruto cuando la venta es sólo queso ($\$/\text{vaca}/\text{día}$) requirieron del ajuste de un modelo con los efectos del intercepto, la pendiente lineal y la pendiente cuadrática, mientras que la variable eficiencia de transformación de leche en queso (litros de leche por kg de queso fresco) requirió un modelo con el ajuste de solo los términos de intercepto y pendiente lineal.

Cuadro 10. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y las covariables significativas del modelo de mejor ajuste, para variables de eficiencia de transformación de leche en queso y en ingresos de hembras de tres genotipos bovinos manejados en pastoreo en Chapingo, Estado de México.

Efecto ^a	Coeficiente en el modelo	Variable			
		Eficiencia (litros de leche por kg de queso fresco)	Producción de queso fresco (kg ⁻¹ vaca ⁻¹ día ⁻¹)	Ingreso por venta de leche (\$ vaca ⁻¹ día ⁻¹)	Ingreso por venta de queso fresco (\$vaca ⁻¹ día ⁻¹)
Genotipo					
CLTxJ	β_{01}	<.0001	0.3637	<.0001	0.4205
HFxJ	β_{02}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
J	β_{03}	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Genotipo x Tiempo					
(CLTxJ)*T	β_{11}	<.0001	0.7713	0.0737	0.8937
(HFxJ)*T	β_{12}	0.8332	0.6567	<.0001	0.5605
(J)*T	β_{13}	0.0187	0.0445	0.0072	0.0407
Genotipo x (Tiempo) ²					
(CLTxJ)*T ²	β_{21}	-----	0.7510	0.1828	0.8305
(HFxJ)*T ²	β_{22}	-----	0.8605	0.0009	0.6282
(J)*T ²	β_{23}	-----	0.0912	0.1289	0.0702
Edad de la vaca al parto					
Lineal		-----	-----	0.0368	-----
Cuadrático		-----	-----	-----	-----
Producción de leche					
Lineal		-----	<.0001	-----	<.0001
Cuadrático		-----	-----	-----	0.0153

^aCLTxJ = Criollo Lechero Tropical x Jersey; HxJ = Holstein-Friesian x Jersey; J = Jersey.

Cuadro 11. Coeficientes ($\pm$ error estándar) de la regresión fija por genotipo de la vaca para variables de eficiencia de transformación de leche en queso y en ingresos de hembras de tres genotipos bovinos manejados en pastoreo en Chapingo, Estado de México.

	Parámetro de la regresión fija para genotipo de la vaca ^y			Covariables significativas ^z			
	β_0	β_1	β_2	Leche	Leche ²	Edad	Edad ²
Eficiencia de transformación (litros de leche por kg de queso fresco)							
CLTxJ	8.37 $\pm$ 0.38	-7.0E-3 $\pm$ 0.0006 ^a	-----				
HxJ	7.40 $\pm$ 0.45	-3.0E-4 $\pm$ 0.0015 ^b	-----	-----	-----	-----	-----
J	7.73 $\pm$ 0.78	-6.4E-3 $\pm$ 0.0026 ^{ab}	-----				
Producción de queso fresco (kg ⁻¹ vaca ⁻¹ día ⁻¹)							
CLTxJ	2.865 $\pm$ 3.13	-7.0E-3 $\pm$ 0.022	1.1E-5 $\pm$ 3.3E-5				
HxJ	1.681 $\pm$ 0.22	1.0E-3 $\pm$ 0.002	-9.5E-7 $\pm$ 5.4E-6	0.140 $\pm$ 0.02	-----	-----	-----
J	1.394 $\pm$ 0.26	9.0E-3 $\pm$ 0.006	-2.4E-5 $\pm$ 1.3E-5				
Ingreso por venta de leche (\$ vaca ⁻¹ día ⁻¹)							
CLTxJ	230.8 $\pm$ 55.0	-0.695 $\pm$ 0.38	7.6E-4 $\pm$ 5.7E-4				
HxJ	192.1 $\pm$ 13.5	-0.618 $\pm$ 0.13	1.1E-3 $\pm$ 3.1E-4	-----	-----	4.9 $\pm$ 2.3	-----
J	185.8 $\pm$ 13.9	-0.635 $\pm$ 0.23	1.0E-3 $\pm$ 6.7E-4				
Ingreso por venta de queso fresco (\$ vaca ⁻¹ día ⁻¹)							
CLTxJ	238.3 $\pm$ 294	-0.277 $\pm$ 2.07	6.6E-4 $\pm$ 3.0E-3				
HxJ	181.1 $\pm$ 24	0.157 $\pm$ 0.27	-3.0E-4 $\pm$ 6.3E-4	14.7 $\pm$ 2.4	-0.98 $\pm$ 0.4	-----	-----
J	142.9 $\pm$ 33	0.981 $\pm$ 0.47	-2.3E-3 $\pm$ 1.2E-3				

^xCLT x J = Criollo Lechero Tropical x Jersey; H x J = Holstein-Friesian x Jersey; J = Jersey.

^yDentro de variable y coeficiente, medias con diferente literal, son diferentes ($p < 0.05$; Tukey).

^zLeche: producción de leche (litros vaca⁻¹ día⁻¹); Leche²: Leche al cuadrado; Edad: Edad de la vaca al parto (años); Edad²: Edad al cuadrado.

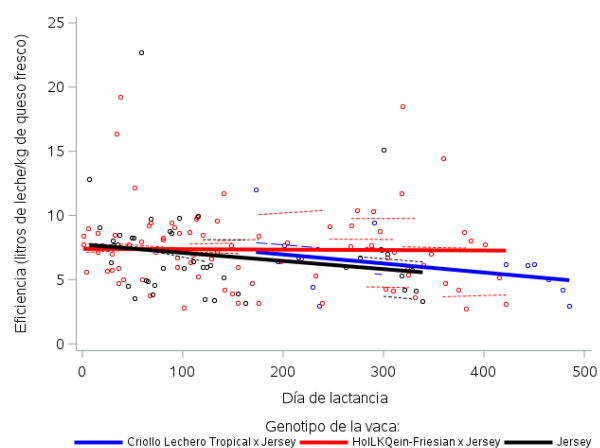


Figura 9. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para litros de leche cruda necesarios para elaborar un kg de queso fresco con leche de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.

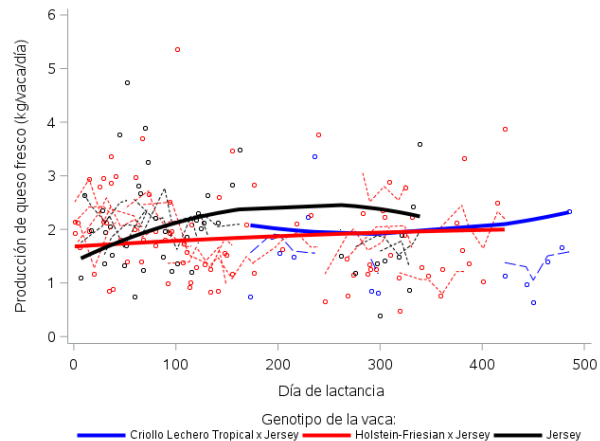


Figura 10. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para producción diaria de queso fresco de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.

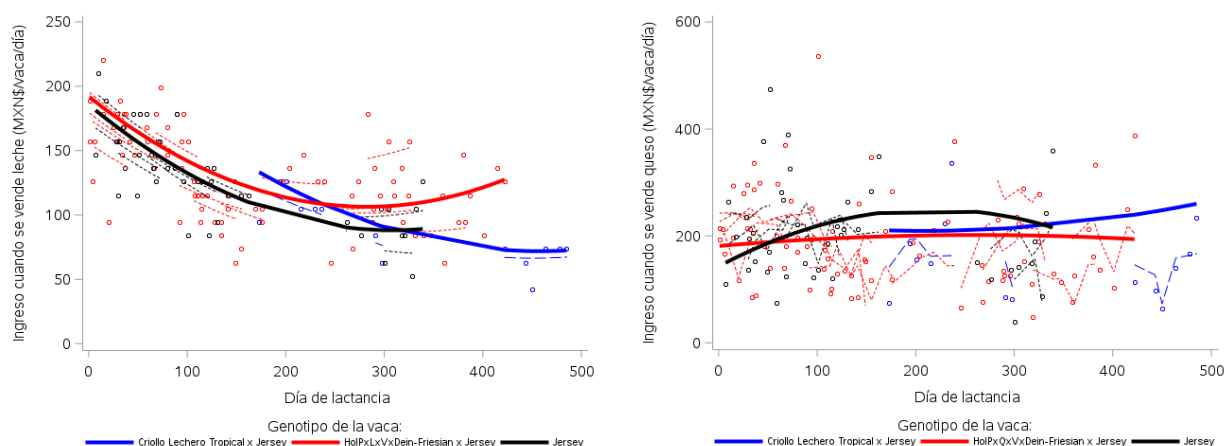


Figura 11. Valores observados (círculos), líneas predichas de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas continuas) y aleatorias por vaca (líneas discontinuas) para ingreso diario por vaca cuando la producción se vende como leche fluída (derecha) y cuando la producción se vende como queso fresco (derecha) de vacas de tres genotipos alimentadas en pastoreo.

Los contrastes para las comparaciones del intercepto, pendiente lineal y cuadrática de las regresiones fijas por genotipo de la vaca (Cuadro 11), así como los despliegues visuales del modelo de mejor ajuste para cada una de las variables modeladas (Figuras 9-11), indican que, durante el periodo experimental, no hubo diferencias sustanciales entre las vacas de los distintos genotipos para las variables modeladas.

El efecto lineal de la covariable edad de la vaca al parto (años) en el día de muestreo fue importante para la variable ingreso bruto cuando la venta es solo leche ($\$ \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$). El coeficiente positivo indica que, en el rango de 3 a 15 años, por cada año de incremento de edad de la vaca, el ingreso bruto por venta de leche se incrementa en 4.9 pesos $\text{vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$. De la misma forma, el coeficiente positivo de 0.140 correspondiente al efecto lineal de la covariable producción de leche en el día de muestreo implica que, en el rango de 5 a 25 litros de leche por vaca por día, por cada litro extra de leche producido por una vaca en el día de muestreo, se estarán generando 0.140 kg de queso fresco por vaca por día. El efecto lineal y cuadrático

significativo de la covariable producción de leche en el día de muestreo para la variable ingreso bruto cuando la leche se vende transformada en queso, indica que se alcanza un máximo a un nivel de producción diario de leche de 7.5 litros por vaca por día.

Durante este estudio, la media en la eficiencia de transformación de litros de leche por kilogramo de queso fresco fue de 7.2 litros, cantidad mayor a lo que indica Centeno et al. (2020), con un rendimiento de 5.93 litros para producir un kilogramo de queso fresco, y De Oliveira et al. (2021) con la utilización de 6.13, 6.05 y 6.27 litros de leche de tres razas cebuinas.

La variabilidad en el rendimiento quesero puede atribuirse al origen de la materia prima, en este caso solo se empleó leche del primero ordeño para elaborar los quesos modelos. Además, se ha demostrado que la composición de la leche difiere entre ordeños; por lo tanto, comparar los rendimientos de leche mezclada y leche de vacas individuales arroja resultados diversos.

En un trabajo realizado en la misma zona se registraron valores superiores a los aquí presentados, con un rendimiento de $3.23 \text{ kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y un ingreso de $\$82.20 \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ por venta de leche y $\$323 \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ para la venta de queso panela con vacas JerseyxHolstein (Paredes, 2014); de forma similar, para ese estudio las cruas resultaron más eficientes para el ingreso económico que las razas puras.

3.6 Conclusiones

Los genotipos J, HxJ y CLTxJ manejados bajo pastoreo en zona templada, con lactancias prolongadas y dos ordeños, en edades de 2 a 15 años presentaron potencial para producir leche con alto contenido de sólidos totales. Aunque no hubo diferencias importantes para el rendimiento de queso, genotipo tiene un impacto significativo en la producción y composición de la leche, representando una oportunidad para mejorar la calidad de los productos lácteos.

3.7 Literatura citada

- Bergamaschi, M., Cipolat-Gotet, C., Stocco, G., Valorz, C., Bazzoli, I., Sturaro, E., Ramanzin, M., & Bittante, G. (2016). Cheesemaking in highland pastures: Milk technological properties, cream, cheese and ricotta yields, milk nutrients recovery, and products composition. *Journal of Dairy Science*, 99(12), 9631-9646. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11199>
- Bernal M. L. R., Rojas G. M. de los Á., Vázquez F. C., Espinoza O. A., Estrada F. J., & Castelán O. O. A. (2007). Determinación de la calidad fisicoquímica de la leche cruda producida en sistemas campesinos en dos regiones del Estado de México. *Veterinaria México*, 38(4), 395-407.
- Bittante, G., Cipolat-Gotet, C., Malchiodi, F., Sturaro, E., Tagliapietra, F., Schiavon, S., & Cecchinato, A. (2015). Effect of dairy farming system, herd, season, parity, and days in milk on modeling of the coagulation, curd firming, and syneresis of bovine milk. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2759-2774. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8909>
- Bland, J. H., Grandison, A. S., & Fagan, C. C. (2015). Effect of blending Jersey and Holstein-Friesian milk on Cheddar cheese processing, composition, and quality. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 1-8. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8433>
- Castillo M. T. (2007). Calidad de leche y cuenta de células somáticas de ganado Jersey y Holstein en México [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo].
- Centeno P. C., Morán C. E., Rodríguez R. B., Torres O. B., & Palacios, D. (2020). Evaluación del proceso de elaboración de queso fresco con dos tipos de leche y su incidencia en parámetros productivos y calidad en la Asociación de Productores Agropecuarios de Nueva Concepción, Chalatenango, El Salvador. *Agrociencia*, 3(16), 36–52. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1083927>
- Cervantes A. P., Hernández B. A., Domínguez M. B., & Montiel P. F. (2015). Variation in milk yield and composition in cows in tropic of Veracruz State, Mexico. *Research Opinions in Animal & Veterinary Sciences*, 5(1), 34-37.
- Cipolat-Gotet, C., Malacarne, M., Summer, A., Cecchinato, A., & Bittante, G. (2020). Modeling weight loss of cheese during ripening and the influence of dairy system, parity, stage of lactation, and composition of processed milk. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 6843-6857. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17829>
- CONAGUA. (Comisión Nacional del Agua). (2024). Normales climatológicas por estado. Recuperado de Normales Climatológicas por estado. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mex>

- Corrales, R. (2011). Population structure and phenotypic characterization as a basis for conservation and sustainable use of Reyna Creole Cattle in Nicaragua [Tesis Doctoral, Swedish University of Agricultural Sciences].
- De Marchi, M., Dal Zotto, R., Cassandro, M., & Bittante, G. (2007). Milk coagulation ability of five dairy cattle breeds. *Journal of Dairy Science*, 90(8), 3986-3992. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-627>
- De Oliveira, S. I. L., Rangel, N. A. H., Madruga, C. R., De Lima Júnior, M. D., Gomes, S. R. D., Sales, C. D., & Bezerra, S. J. (2021). Physicochemical composition, yield and sensory acceptance of Coalho cheese obtained from Zebu's cow milk. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(2), 337–352. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5600>
- Díaz G. E. P., Valladares C. B., Gutiérrez C. A. D. C., Arriaga J. C. M., Quintero S. B., Cervantes A. P., & Velázquez O. V. (2017). Caracterización de queso fresco comercializado en mercados fijos y populares de Toluca, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(2), 139-146. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4419>
- Frederiksen, P. D., Hammershøj, M., Bakman, M., et al. (2011). Variations in coagulation properties of cheese milk from three Danish dairy breeds as determined by a new free oscillation rheometry-based method. *Dairy Science & Technology*, 91, 309–321. <https://doi.org/10.1007/s13594-011-0018-5>
- Hershberger D. A. U. (2012). *Producción y calidad de leche de vacas en pastoreo o en estabulación* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo].
- Kelly, A. L., & Bach L. L. (2010). Milk biochemistry. En M. W. Griffiths (Ed.), *Improving the Safety and Quality of Milk* (pp. 3-26). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845699420.1.3>
- Martínez V., G., Palacios F., J. A., Bustamante G., J. D., Ríos U., Á., Vega M., V. E., & Montañó B., M. (2010). Composición de leche de vacas Criollo, Guzarat y sus cruza F1 y su relación con el peso al destete de las crías. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(4), 311-324.
- Paredes E., M. J. (2014). Producción de leche y queso panela de vacas Jersey y sus cruza con Holstein en pastoreo orgánico [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo].
- Priyashantha, H., & Lundh, Å. (2021). Current understanding of the influence of on-farm factors on bovine raw milk and its suitability for cheesemaking. *Journal of Dairy Science*, 104(11), 12173-12183. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20146>
- Ramírez L. C., & Vélez R. J. F. (2017). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Revista de Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de las Américas Puebla*, 6(2), 131-148.
- Rosendo P., A., Sánchez G., A., Ríos O., Á., Torres H., G., & Becerril P., C. M. (2021). Rendimiento y composición química de la leche de vacas criollas en

- pastoreo y suplementadas en ordeño tropical. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), e1515. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1515
- Rosendo, P. A., & Becerril P. C. M. (2015). Avance en el conocimiento del bovino Criollo Lechero Tropical de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5), 233-243. <https://doi.org/10.19136/era.a2n5.474>
- Varotto, A., De Marchi, M., Penasa, M., & Cassandro, M. (2015). A comparison of milk clotting characteristics and quality traits of Rendena and Holstein-Friesian cows. *Italian Journal of Animal Science*, 15(3), 3768. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3768>
- WingChing-Jones, R., & Mora C. E. (2015). Condiciones ambientales y calidad de la leche cruda de un hato Jersey especializado en el trópico húmedo de Costa Rica. *UNED Research Journal/Cuadernos de Investigación UNED*, 7(2), 165-171.