



Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria (MIPPE)

Tesis
**PREDICCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE, GRASA Y
PROTEÍNA DE ACUERDO AL NIVEL DE CÉLULAS SOMÁTICAS
EN LECHE DE CABRA**

Presenta
MVZ. IRMA JANET ORTEGA CHÁVEZ

Para obtener el grado de
MAESTRA EN CIENCIAS

Director de tesis
DR. MAURICIO VALENCIA POSADAS

Comité Tutorial
DR. ARTURO VALDIVIA FLORES
DR. MIGUEL ÁNGEL AYALA VALDOVINOS

Aguascalientes, Ags., 10 de junio de 2016



Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria (MIPPE)

Tesis
PREDICCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE, GRASA Y
PROTEÍNA DE ACUERDO AL NIVEL DE CÉLULAS SOMÁTICAS
EN LECHE DE CABRA

Presenta
MVZ. IRMA JANET ORTEGA CHÁVEZ

Para obtener el grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS

EL PRESENTE DOCUMENTO FUE REVISADO, PRESENTADO, DEFENDIDO Y
APROBADO EN EL SEMINARIO (EXAMEN DE GRADO) CORRESPONDIENTE

Tutor

DR. MAURICIO VALENCIA POSADAS _____

Comité Tutorial

DR. MAURICIO VALENCIA POSADAS _____

DR. ARTURO VALDIVIA FLORES _____

DR. MIGUEL A. AYALA VALDOVINOS _____

Aguascalientes, Ags., 10 de junio de 2016

AUTORIZACIONES





MC. GABRIEL E. PALLÁS GUZMAN

DECANO (A) DEL CENTRO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
P R E S E N T E

Por medio de la presente como Cotutor designado para la egresada **MVZ. IRMA JANET ORTEGA CHÁVEZ** perteneciente a la **MAESTRIA INTERINSTITUCIONAL EN PRODUCCIÓN PECUARIA** quien realizó tesis titulada: **PREDICCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE, GRASA Y PROTEÍNA DE ACUERDO AL NIVEL DE CÉLULAS SOMÁTICAS EN LECHE DE CABRA**, y con fundamento en el artículo 175, apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención de grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 10 de Octubre del 2016.

Dr. Arturo Gerardo Valdivia Flores
Coutor de tesis

Dr. Mauricio Valencia Posadas
Coutor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Jefatura del Depto. de Clínica Veterinaria
c.c.p.- Consejero Académico
c.c.p.- Minuta Secretario Técnico



MC. GABRIEL E. PALLÁS GUZMAN

DECANO (A) DEL CENTRO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
P R E S E N T E

Por medio de la presente como Cotutor designado para la egresada **MVZ. IRMA JANET ORTEGA CHÁVEZ** perteneciente a la **MAESTRIA INTERINSTITUCIONAL EN PRODUCCIÓN PECUARIA** quien realizó tesis titulada: **PREDICCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE, GRASA Y PROTEÍNA DE ACUERDO AL NIVEL DE CÉLULAS SOMÁTICAS EN LECHE DE CABRA**, y con fundamento en el artículo 175, apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención de grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Guadalajara, Gdl., a 18 de Noviembre del 2016.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Ángel', is placed over a large, faint watermark of the number '10' in the background.

Dr. Miguel Ángel Ayala Valdovinos
Coutor de tesis



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES
CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

OFICIO NO. CCA-D-111500-303-16

DRA. GUADALUPE RUÍZ CUÉLLAR
DIRECTORA GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
PRESENTE.

Por medio del presente me permito comunicarle a usted que la tesis titulada "PREDICCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE, GRASA Y PROTEÍNA DE ACUERDO AL NIVEL DE CÉLULAS SOMÁTICAS EN LECHE DE CABRA" de la alumna **IRMA JANET ORTEGA CHÁVEZ**, egresada de la Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, respeta las normas y lineamientos establecidos institucionalmente para su elaboración y su autor cuenta con el voto aprobatorio de su tutor y comité tutorial.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Jesús María, Aguascalientes., a 22 de Noviembre del 2016.

"Se Lumen Proferre"



M. en C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

c.c.p. Jefa del Departamento del Control Escolar
c.c.p. Sección de Certificados y Títulos
c.c.p. Secretario Técnico
c.c.p. Estudiante
c.c.p. Archivo

RECONOCIMIENTOS

Este protocolo de tesis de maestría se desarrolló gracias a la participación del Dr. Mauricio Valencia Posadas, quien asesoró el proyecto desde la concepción de la idea, la ejecución, el análisis teórico y hasta la redacción definitiva del presente documento.

Se reconoce el apoyo financiero del Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (registro de becario no. 621770).

Agradezco a mis padres por el apoyo e impulso que me brindaron durante toda mi travesía para lograr finalizar un grado más de estudios concluyendo la maestría; así como a mi esposo por su paciencia, comprensión y apoyo que fueron indispensables para continuar dando lo mejor de mí para lograr aportar un granito de conocimientos a esta bella disciplina de la veterinaria.

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIONES	4
RECONOCIMIENTOS.....	5
ÍNDICE GENERAL.....	1
ÍNDICE DE CUADROS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ACRÓNIMOS.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	13
1.2. OBJETIVOS	13
1.2.1. Objetivo general	13
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. PRODUCCIÓN DE LECHE DE CABRA A NIVEL MUNDIAL	14
2.2. CONSUMO DE LECHE DE CABRA.....	15
2.3. RAZAS DE CABRAS LECHERAS.....	15
2.4. PRODUCCIÓN DE LECHE DE CABRA	16
2.5. PROTEÍNA EN LECHE DE CABRA	17
2.6. GRASA EN LECHE DE CABRA.....	18
2.7. CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE LA GLANDULA MAMARIA	19
2.8. PROCESO FISIOLÓGICO DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE	20
2.9. PROCESO CELULAR DE LA PRODUCCIÓN DE LOS COMPONENTES LÁCTEOS.....	21
2.10. SISTEMA INMUNE DE LA GLANDULA MAMARIA	23
2.11. CÉLULAS SOMÁTICAS.....	23
2.12. PRUEBAS DE CONTEO DE CÉLULAS SOMÁTICAS.....	25
2.13. CONTEO CELULAR DE LECHE DE CABRA SIN INFECCIÓN	25
2.14. MASTITIS.....	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. DISEÑO METODOLÓGICO	28
3.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO	28
3.2.1. Características generales	28
3.2.2. Ubicación espacio temporal.....	28
3.2.3. Criterios de inclusión, exclusión y eliminación.....	28
3.3. TÉCNICAS PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN SUSTANTIVA.....	29
3.3.1. Análisis de laboratorio	29
3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO	29
3.4.1. Variables de medición	29
3.4.2. Proceso de captación de la información.....	30
3.4.3. Análisis e interpretación de la información	30
3.4.4. Pruebas estadísticas.....	30
3.4.5. Modelo estadístico.....	31
3.5. LOGÍSTICA DEL PROYECTO	33
3.5.1. Programación de actividades.....	33

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. RESULTADOS DEL ESTUDIO	36
5. CONCLUSIÓN	49
GLOSARIO.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXOS.....	62
Anexo A. Técnica para obtener predicciones sobre la producción de leche.....	lxiii
Anexo B. Presentación en eventos científicos.....	lxiv



ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro No. 1. Etapas de realización del proyecto</i>	35
<i>Cuadro No. 2. Estadísticos descriptivos para variables de producción de leche y células somáticas en cabras incluyendo todos los registros (n=1412)</i>	36
<i>Cuadro No. 3. Correlaciones estimadas entre los promedios de células somáticas (CCSPM) de toda la lactancia con los conteos de células de cada determinación (CCSi).....</i>	40
<i>Cuadro No. 4. Resultados del modelo de regresión lineal múltiple para el promedio de células somáticas, en función de las determinaciones mensuales de células somáticas.....</i>	42
<i>Cuadro No. 5. Resultado del modelo de regresión múltiple para la producción de leche, grasa y proteína utilizando las raza Alpina (n=494)</i>	43
<i>Cuadro No. 6. Resultado del modelo de regresión lineal múltiple para la producción de leche, grasa y proteína utilizando la raza Alpina de primera lactancia (n=231).....</i>	43
<i>Cuadro No. 7. Resultado del modelo de regresión múltiple para la producción de leche, grasa y proteína utilizando la raza Alpina de segunda y posteriores lactancias (n=263)</i>	44
<i>Cuadro No. 8. Resultados del modelo de regresión utilizando variables tempranas de la lactancia para producción de leche, grasa y proteína utilizando información de la raza Alpina (n=494).....</i>	45
<i>Cuadro No. 9. Resultados del modelo de regresión utilizando variables tempranas de la lactancia para producción de leche, grasa y proteína utilizando información de la raza Alpina de primera lactancia (n=231)</i>	45
<i>Cuadro No. 10. Resultados del modelo de regresión utilizando variables tempranas de la lactancia para la producción de leche, grasa y proteína utilizando información de la raza Alpina de segunda y posteriores lactancias (n=263)</i>	46
<i>Cuadro No. 11. Predicciones para la producción de leche utilizando la raza Alpina de segunda y posteriores lactancias (n=263)</i>	47
<i>Cuadro No. 12. Predicción para la producción de leche utilizando variables tempranas de la lactancia para la raza Alpina de segunda y posteriores lactancias (n=263).....</i>	48

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diagrama de Gant con la programación de actividades del proyecto.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2. Curva de los promedios de producción de leche durante la lactancia usando todos los registros (n=1412).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3. Curva de los promedios de porcentaje de grasa durante la lactancia usando todos los registros (n=1412).....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4. Curva de los promedios de porcentaje de proteína durante la lactancia usando todos los registros (n=1412).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 5. Curva de los promedios de conteo de células somáticas durante la lactancia usando todos los registros (n=1412).....</i>	<i>40</i>



ACRÓNIMOS

ADN	Acidodesoxirribunucleico	L	Litro
%	Porcentaje	SAS	StatisticalAnalysisSystem
ADGA	American DairyGoatAsociation	PCR	Reacción en cadena de la polimerasa
ANDEVA	Análisis de varianza	mg	Miligramo
CCS	Conteo de células somáticas	CCS_i	Pesaje mensual de células somáticas
cm	Centímetro	sem	Semana
CS	Células somáticas	min	Minuto
d	Días	pH	Potencial de Hidrógeno
DL	Días de lactancia	Y_i	Variable independiente
E.E.	Error estándar	μL	Microlitro
EDTA	Etilendiamino tetra acetato	nm	Nanómetro
et al.,	Y colaboradores	P %	Porcentaje de proteína
FA	Fosfatasa alcalina	X_i	Variable dependiente
FAO	Food and AgricultureOrganization	R²	Coefficiente de determinación elevado
FAT	Traslocador de ácidos grasos	UAA	Universidad Autónoma de Aguascalientes
FEPAR	Fecha de parto	μg	Microgramo
g	Gramos	NOM	Norma Oficial Mexicana
G %	Porcentaje de grasa	PL	Producción de leche
h	Hora	Nd	Dato no disponible
H/E	Hematoxilina y eosina	n	Número de observaciones
kg	Kilogramo	RE	Rebaño
RA	Raza	S. aureus	<i>Staphylococcus aureus</i>
ML	Modelo linear general	TC	Tamaño de camada
NL	Número de lactancia	PS	Periodo seco anterior
PCS	Puntaje de células somáticas	P	Probabilidad de "F" en ANDEVA
mL	Mililitro	CCSPM	Promedio de células somáticas de toda la lactancia

RESUMEN

Las células somáticas (CS) son un mecanismo de defensa natural que tiene la glándula mamaria de la cabra y han sido utilizadas como indicador para evaluar la calidad de la leche. Actualmente no existen estudios en cabras para obtener predicciones sobre la producción de leche, grasa o proteína de acuerdo al nivel de células somáticas por lo que el objetivo del presente estudio fue la predicción de la producción de leche las cuales permiten tomar decisiones para hacer más eficiente la productividad de los rebaños. Los datos fueron obtenidos de doce rebaños pertenecientes a la Asociación Americana de Cabras Lecheras (American Dairy Goat Association) de Estados Unidos de Norteamérica, durante el período 2003-2010 incluyendo 1,412 lactancias de las razas Saanen, Nubia, Toggenburg, Alpina, La Mancha y Cruzadas. Se estimaron correlaciones de Pearson entre las determinaciones mensuales de CS con el promedio de células somáticas de toda la lactancia (PCS). También se utilizó un modelo de regresión múltiple tomando como variable dependiente PCS en función de las determinaciones mensuales de CS. Adicionalmente un segundo modelo de regresión múltiple fue usado para predecir las producciones de leche, grasa y proteína en la raza Alpina para primeras y posteriores lactancias, considerando como variables independientes la cuenta de CS de cada mes de la lactancia, días en producción a la fecha de determinación de CS, duración de toda la lactancia y PCS (22 variables), de la misma manera se realizaron predicciones para la producción de leche utilizando variables tempranas de la lactancia para la raza Alpina de segunda y posteriores lactancias. El promedio de PCS fue 508 ± 132 miles de células, con un coeficiente de variación de 25.9%. Todas las correlaciones estimadas fueron significativas ($P < 0.01$) siendo las más altas entre las CS de la segunda, tercera y cuarta determinación mensual (de 0.7 a 0.77). En el modelo de regresión para PCS todas las determinaciones mensuales de CS fueron significativas, explicando el 79.4% de la variación de PCS, siendo el pesaje número ocho el que más contribuyó en el incremento del coeficiente de determinación (43.5%). El modelo de regresión polinomial de la raza Alpina utilizando todas las lactancias presentó un coeficiente de regresión (R^2) de 51.84% para producción de leche, 69.37% para porcentaje de grasa y 54.86% para porcentaje de proteína. Para la raza Alpina de primera lactancia el R^2 fue de 52.68% para producción de leche, 43.94% para porcentaje de grasa y 57.47% para porcentaje de proteína, y para segundas y posteriores lactancias el R^2 fue de 69.17% para producción de leche, 73.19%

para porcentaje de grasa y 62.26% para porcentaje de proteína. Debido a los mayores R^2 obtenidos en este último modelo, se usaron los parámetros obtenidos para hacer las predicciones para producción de leche, grasa y proteína observando que la producción de leche por lactancia se vio influida por los valores de cada una de las variables independientes, no se observan en la producciones predichas pérdidas importantes cuando CSS tiene valores altos. Sin embargo, las producciones de los pesajes uno, dos y cuatro, tienen una relación muy estrecha con la predicción de leche por lactancia. Con la metodología de predicción de producción de leche, grasa y proteína implementada en este estudio, los productores de cabras tienen una herramienta importante que puede ser utilizada para la toma de decisiones.

Palabras clave: Mastitis; pérdidas en producción de leche, grasa y proteína; cabras lecheras; conteo de células somáticas.

ABSTRACT

Somatic cells (CS) are a natural defense mechanism that has the goat mammary gland and have been used as an indicator to assess the quality of milk. Currently there are no studies in goats for predictions about the production of milk, fat or protein according to the level of somatic cells so the objective of the present study was the prediction of the milk production which allow to make decisions to make more efficient the productivity of the herds. The data were obtained twelve herds belonging to the American Dairy Goat Association (American DairyGoatAssociation) United States, during the period 2003-2010 including 1,412 lactations of Saanen, Nubian, Toggenburg, Alpina, La Mancha breeds and Crusades. Pearson correlations between CS determinations monthly average somatic cell throughout lactation (PCS) were estimated. Multiple regression model using as dependent variable PCS based on monthly measurements of CS was also used. Additionally one second multiple regression model was used to predict yields of milk, fat and protein in the Alpine race for first and subsequent lactations, considering as independent variables account CS of each month of breastfeeding, day in production to date CS determination, duration of any breastfeeding and PCS (22 variables), in the same way predictions for milk production variables were performed using early breastfeeding for the Alpine race second and subsequent lactations. The average was 508 ± 132 PCS thousands of cells, with a coefficient of variation of 25.9%. All estimated correlations were significant ($P < 0.01$) being the highest among the CS of the second, third and fourth monthly determination (0.7 to 0.77). In the regression model for all monthly PCS CS determinations were significant, accounting for 79.4% of the variation in PCS, weighing number eight being the main contributor to the increase in the coefficient of determination (43.5%). The polynomial regression model of the Alpine race using all lactations showed a regression coefficient (R^2) of 51.84% for milk production, 69.37% for fat percentage and 54.86% for protein percentage. For the Alpine race first lactation the R^2 was 52.68% for milk production, 43.94% for fat percentage and 57.47% for protein percentage, to second and subsequent lactations R^2 was 69.17% for milk production, 73.19% for percentage of 62.26% for fat and protein percentage. Due to higher R^2 obtained in the latter model, the parameters obtained were used to make predictions for milk, fat and protein took in the production of milk per lactation was influenced by the values of each of the independent variables, not observed in the major predicted productions losses when CSS has high values. Without thier, the

productions of weighing one, two and four have a very close relationship with the prediction of milk per lactation. With the methodology of predicting milk production, fat and protein implemented in this study, goat producers have an important tool that can be used for decision making.

Keywords: Dairy goat, somatic cell count, phenotypic correlation



INTRODUCCIÓN

Las células somáticas son un mecanismo de defensa natural que tiene la ubre de la cabra y han sido utilizadas como indicador del estado de salud en el cual se encuentra la glándula mamaria de un animal. Cualquier daño o infección que sufra la glándula mamaria esta correlacionado con un aumento en la producción de células somáticas que a su vez puede verse reflejado como un proceso inflamatorio glandular denominado “mastitis” (Cremonesiet *al.*, 2012), enfermedad que provoca cambios patológicos a la glándula mamaria y cambios físicos, químicos, celulares y bacteriológicos a la leche (Bloodet *al.*, 1989). Es por ésto que se ha utilizado este parámetro como indicador principal para evaluar la calidad e higiene de la leche (Ortega *et al.*, 2008).

La mastitis es una enfermedad importante en hatos lecheros, puesto que su presencia está ligada a una baja producción de leche y disminución de la calidad de la misma, y por ende de los productos lácteos. Algunos estudios revelan que la mastitis tiene una heredabilidad de hasta un 20% en cabras (Cremonesi *et al.*, 2012) dato relevante para los ganaderos como parámetro en la selección genética para reducir la frecuencia de la enfermedad.

En comparación con las vacas y las ovejas, la cantidad de células somáticas en las cabras es más elevada, lo que hace difícil de comparar y aplicar los mismos criterios para esta especie (Persson y Olofsson, 2011). Existen diversos factores implicados en dicho incremento de la cantidad de células somáticas en la leche como es la propia lactancia, el parto (Persson y Olofsson, 2011), la raza, el tamaño de camada, el ordeño (Souza *et al.*, 2012), incluso se menciona el efecto de algunas infecciones como es la artritis-encefalitis caprina (Paape y Capuco, 2014). Sin embargo existen otros factores como la involución uterina, la genética, el medio ambiente y la época del año, que logran producir variación en la producción diaria de leche y en las células somáticas (Barrón-Bravo *et al.*, 2013). El número de lactancia y la hora del día podrían ser de relevancia para los conteos celulares (Menzies y Ramanoon, 2001). Se estima que más del 90% de la variación en los recuentos de células somáticas en leche de cabras no es producida por una infección bacteriana intramamaria (Wilson *et al.*, 1995).

Por esta razón es que la Regulación de leche Pasteurizada, permite 1,000,000 células somáticas/mL en leche de cabra, mientras que el límite del conteo de células somáticas de leche de vaca ha sido 750,000 células/mL (Chenet *et al.*, 2010) y en ovejas de 100,000 células/mL (Dominique *et al.*, 2003). Aunque los recuentos de células somáticas en la leche de vaca son más bajos que en la leche de cabra, se reconoce que al aumentar los recuentos existe una disminución en la producción de leche; para la leche de cabra existen evidencias que indican el mismo efecto, pudiéndose encontrar pérdidas diarias en la producción de leche de hasta del 29% (Barrón-Bravo *et al.*, 2013).

Al menos 10 países a nivel mundial dependen de un suministro promedio de 30 al 76% de leche de cabra y oveja para la sustentabilidad y bienestar poblacional (Haenlein, 2001). Los estimadores de heredabilidad a través de razas de cabra fueron de 0.35 para la producción de leche y grasa, y de 0.37 para la producción de proteína (García-Peniche *et al.*, 2012). A pesar de su importancia, la investigación ha sido escasa en comparación con la leche de vaca por lo que los países necesitan mayor desarrollo para mejorar la productividad de la industria de cabras lecheras (Haenlein, 2001).

Entre las numerosas consecuencias que tiene la alteración de la síntesis de la leche por el efecto del aumento de células de defensa, son la baja calidad de producción de proteína y contenido de leche con modificaciones en la degradación de enzimas endógenas encargadas de dar diferentes texturas y características organolépticas a los productos lácteos (Li *et al.*, 2014); otra consecuencia es un incremento en los niveles de albumina en el suero de la leche y una disminución de los contenidos de caseína, grasa y lactosa (Eman y Esmat, 2014).

Los contenidos de grasa y proteína en leche de cabra son influidos por diversos factores y muestran una amplia variación. Para la proteína los valores oscilan del 2.2 hasta un 5.1%, mientras que la grasa está presente con un mínimo de 2.3 hasta un máximo de 6.9% (Haenlein, 2002) con variaciones de grasa y proteína de hasta 0.30% a lo largo de la lactancia. Los contenidos de lactosa van de 4.46 a 4.30% en las primeras semanas de lactancia hasta disminuir a un 3.96% para finales de la misma (Chacón, 2005).

Con el objetivo de evaluar el efecto de la mastitis subclínica en la producción de leche y los cambios en su composición, se infectaron intencionalmente las glándulas de ovejas, mientras que su contra lateral se mantuvo libre de bacterias; dicho diseño demostró una afección negativa en el rendimiento y la calidad de la leche dado el aumento de las actividades del plasminógeno y plasmina en las glándulas infectadas (Leitner *et al.*, 2003).

Comparando las características de una leche de cabra proveniente de glándulas mamarias infectadas contra las no infectadas, Leitner (2004) realizó un estudio con cabras, donde obtuvieron producciones de leche y lactosa inferiores en las glándulas infectadas, las concentraciones de grasa no difirieron entre las glándulas y las concentraciones de proteína tendieron a ser mayores en las glándulas infectadas. Dicha información revela que existe una correlación entre las glándulas de cabras y ovejas; la proporción de las mitades de la ubre con mastitis subclínica en cabras osciló entre 35 y 70% (Menzies y Ramanoon, 2001; Leitner *et al.*, 2004).

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Las pérdidas en la producción de leche, grasa y proteína son proporcionales al incremento de células somáticas en leche de cabra.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Predecir producción de leche, grasa y proteína de acuerdo al nivel de células somáticas en leche de cabra.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente existe un solo estudio disponible en la literatura en cabras lecheras, no de predicción, sino de estimación (Barrón-Bravo *et al.*, 2013), en donde se observó que el aumento de células somáticas fue proporcional a la pérdida de producción diaria de leche y grasa, mientras que los niveles de proteína se incrementaron en relación al aumento de células somáticas (Barrón-Bravo *et al.*, 2013).

Para los productores de leche de cabra resulta indispensable utilizar metodologías que les permitan predecir la producción de leche, grasa o proteína de la lactancia, así como las posibles pérdidas debidas a las células somáticas, lo que les permitirá identificar tempranamente a los animales con mayor potencial para la producción de leche, dirigir apareamientos y tomar decisiones sobre los animales reproductores o aquellos que deberán ser desechados. En este estudio se pretenden predecir las pérdidas aproximadas en la producción de leche al día de prueba, la producción de grasa al día de prueba y la producción de proteína al día de prueba, en función de la cuenta de células somáticas, del número de días en producción que tienen las cabras y otras variables de la lactancia.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. PRODUCCIÓN DE LECHE DE CABRA A NIVEL MUNDIAL

En la actualidad se estima una población mundial de más de 720 millones de cabezas de cabras en producción destinadas a generar productos cárnicos, fibras y productos lácteos; siendo las regiones de Europa, como Francia, Noruega, Alemania, Grecia, Italia, España y Chipre las que cuentan con la industria de cabras lecheras más desarrollada (CONARGEN, 2014). Otros países como India, Irak y Nigeria logran mantener un elevado número de cabras en producción, aunque su industria no se encuentra bien organizada (Haenlein, 2014).

Alrededor del 95% de la población caprina lechera mundial se encuentra en Asia, África y América Latina. El continente asiático representa la mayor parte, con aproximadamente el 55% del total (CONARGEN, 2014), siendo la India su mayor productor como líder mundial contribuyendo con el 22% de la producción total con un promedio lechero anual mayor a 4.5 millones de litros (Haenlein, 1996; FAO, 2014). México contribuye con el 1.33% de leche de cabra total (FAOSTAT, 2015), con una población de 10 millones cabezas (CONARGEN, 2016).

Se calcula que la cabra aporta el 2% del total de leche a nivel mundial con una producción de 7.2 millones de toneladas y la caprinocultura mexicana contribuye con más de 160 millones de litros de leche por año con un crecimiento acumulado durante los últimos 10 años de un 2.8% (FAOSTAT, 2015), siendo los estados de Coahuila y Durango los principales productores seguidos por Guanajuato, Chihuahua, Jalisco, Zacatecas, Nuevo León y Michoacán (CONARGEN, 2016).

Comparando la producción de leche por cabra a nivel mundial, encontramos a Francia con la producción más elevada al tener 400 kg/cabra al año, seguido por Ucrania, Bulgaria y Rusia. La India y Pakistán a pesar de tener la mayor producción a nivel mundial, cuenta con un índice bajo ya que se producen 140 Kg de leche por cabra (FAO, 2014). México es un país con baja producción, con un promedio de 15 Kg de leche anual por cabra en producción (Haenlein, 2014).

2.2. CONSUMO DE LECHE DE CABRA

La leche de cabra cada vez es más consumida ya que contribuye en la ingestión de nutrientes necesarios como el calcio, magnesio, selenio, riboflavina, vitamina B12 y ácido pantoténico; además, es una fuente importante de energía, proteínas y grasa de alta calidad (FAO, 2014). El consumo de leche de cabra, puede ser una alternativa medicinal para contrarrestar la aparición de alergias alimenticias y trastornos gastrointestinales producidos por el consumo de leche de vaca (Haenlein, 2014). Los productos elaborados con leche de cabra, como los probióticos, superan la calidad y contenidos nutricionales a los elaborados con leche de vaca (Solís y Castro, 2007).

El tipo de comercialización de la leche de cabra depende del consumo; en los países del Mediterráneo y en América Latina, la leche de cabra generalmente se transforma en quesos; en África y Asia, se consume generalmente cruda o acidificada (FAO, 2014).

2.3. RAZAS DE CABRAS LECHERAS

Un factor de variación importante para la producción de leche y la calidad de sus productos lácteos, así como sus rendimientos es la raza. El desarrollo de programas de cría, ayudados por la identificación de los recursos genéticos, es un factor primordial para mejorar la productividad. Sin embargo, aunque los estudios de parámetros genéticos se encuentran disponibles tanto en el área del Mediterráneo como en países de América Latina, en Estados Unidos de América estos parámetros de variación genética se encuentran limitados por el escaso seguimiento de estudio en las poblaciones (García-Peniche *et al.*, 2012).

Las razas lecheras con más difusión en la actualidad dada su capacidad para producir leche son: Saanen, Toggenburg, Alpina, Anglo-Nubia y la criolla (García-Peniche *et al.*, 2012). Las cabras de la raza Saanen son ejemplares corpulentos de pelaje blanco y corto, frecuentemente ausentes de cuernos, originarias de Suiza. De las razas más antiguas de origen suizo se encuentra la Toggenburg, son cabras de fácil adaptación carentes de cuernos, con color pardo claro a gris y marcas blancas en la cabeza. La cabra Alpina tiene origen suizo criada en los Alpes y posteriormente adaptada a las condiciones de los valles logrando una gran resistencia al cambio climático (frío y calor), aunque su producción de leche presenta variaciones por los cambios climáticos; su pelaje es corto pardo marrón con marcas negras sobre la cabeza, en línea dorsal y en las patas. La raza

Anglo-Nubia se desarrolló en Inglaterra a partir de cabras originarias de la India y Nubia, es una raza poco tolerante al frío y bien adaptada a climas cálidos, aunque su producción láctea es menor a las demás razas cuenta con niveles de grasa mayores, frecuentemente de partos triples y cuádruples haciéndola una raza popular en los Estados Unidos de América, Canadá y algunos países de Asia; son de pelaje corto con combinaciones de color rojo, café y negro, si llegan a presentar cuernos estos son en forma de espiral. El censo mayoritario de cabras en el país está dado por la raza criolla utilizada en explotaciones de doble propósito, formada por mezclas de cabras europeas, en su mayoría originarias de España por lo que no mantienen un fenotipo definido (Banderas, 2001).

2.4. PRODUCCIÓN DE LECHE DE CABRA

La producción de leche en las cabras alcanza su máximo valor entre la tercer y cuarta semana posparto y progresivamente desciende hasta el cese de ordeño antes del parto, teniendo una lactación del 80% de la etapa de gestación, en contraste con otras especies como las vacas que gestan del 60 al 70% de su lactancia; posteriormente la glándula mamaria no lactante cursa un proceso de crecimiento y diferenciación (Paape y Capuco, 2014). Paape y Capuco (2014) menciona la posibilidad de reducir al mínimo la duración del periodo seco y aumentar la persistencia de la lactancia para hacer más eficiente la producción de leche, aunque aún no se ha comprobado la efectividad de este método.

Comparando la capacidad de producción láctea entre las especies productoras de leche encontramos que la cabra cuenta con una proporción de llenado en su cisterna del 70-90% del volumen total de la ubre, superando la capacidad de almacenamiento de la vaca y la oveja. Dentro de las cabras, las multíparas cuentan con cisternas más grandes comparadas con las primíparas (Silanikove *et al.*, 2010).

Las pérdidas de leche están asociadas a la capacidad funcional de la glándula mamaria y a sus características de almacenamiento alveolar y cisternal (Davis *et al.*, 1998) lo cual explica que los individuos que almacenan una menor proporción de leche en el compartimento cisternal tienen mayor pérdida de leche, grasa y proteína (Stelwagen *et al.*, 2013). La frecuencia de ordeño está relacionada con el aumento en la producción de leche (Stelwagen, 2001), reportando diferencias de hasta el 28.8% en cabras ordeñadas tres veces al día, comparadas con las que sólo son ordeñadas una o dos veces (Alexander *et al.*, 2014).

En vacas un periodo seco de cuarenta días como mínimo es necesario para maximizar la producción de leche para la próxima lactancia con la intención de restaurar las reservas corporales y reemplazar las células epiteliales de la glándula antes de iniciar un nuevo ciclo, en contraste con las cabras donde el periodo seco no es necesario para optimizar la producción láctea por lo que el uso de esquemas para reducir al máximo la duración del periodo seco son una opción viable (Pappe y Capuco, 2014).

2.5. PROTEÍNA EN LECHE DE CABRA

El porcentaje de proteína no difiere de manera significativa entre la leche de cabra con la de vaca. La manipulación de la dieta no provoca alteraciones significativas sobre la proteína en cabras (Silanikove *et al.*, 2010), sin embargo, al adicionar grasa a la dieta del ganado caprino se muestran efectos irregulares sobre niveles de proteína a diferencia de las ovejas y vacas lecheras donde el contenido proteico disminuye (Chilliard *et al.*, 2003).

Entre algunos de los factores que explican las pequeñas diferencias en el contenido de proteína, se conoce que la raza Saanen presenta los rendimientos más elevados para proteína, seguida por Alpina y Nubia, mientras que los animales de la raza Oberhaslis registran el nivel más bajo (García-Peniche *et al.*, 2012). Además del factor raza, la frecuencia de ordeño puede modificar la composición de la leche (Davis *et al.*, 1999), es decir, cuando las cabras Saanen están sujetas a periodos entre ordeños prolongados, registran un incremento tanto de la proteína como de la grasa, en comparación con aquellos animales que son ordeñados dos o tres veces al día (Boutinaud *et al.*, 2003).

Se conoce que altos conteos de células somáticas en leche de oveja favorece un contenido más alto de proteína total, en comparación con aquellas muestras de leche con niveles bajos de células somáticas (Jaeggi *et al.*, 2003; Albenzio *et al.*, 2004; Bianchi *et al.*, 2004). Sin embargo, Albenzio *et al.* (2005) mencionan no haber encontrado una diferencia significativa en los niveles de proteína sobre el conteo celular de leche de oveja.

Otro de los factores implicados en la variación del contenido de la proteína en la leche esta relacionado con las características genéticas y con la etapa de la producción en la que se determinen las pruebas. Se conocen diferencias entre el tamaño de las micelas de caseína en la leche de las diferentes especies, donde el tamaño en la leche de cabra oscila entre 100 y 200 nm, en comparación con las micelas de la leche de vaca con

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

un menor tamaño que va de los 60 a 80 nm (Martin *et al.*, 2002). Además, estos niveles de caseína en leche de cabra mostraron variaciones a lo largo de la lactancia, iniciando con niveles bajos, los cuales se incrementan hacia la mitad de la lactancia, para volver a disminuir a finales de la misma (Ming *et al.*, 2001).

2.6. GRASA EN LECHE DE CABRA

El sistema lipolítico es el encargado del proceso de producción de grasa, misma que determina el desarrollo de rancidez, el rendimiento, color y firmeza a los quesos y productos lácteos pudiendo estar relacionada con el sabor característico de la leche de cabra (Chilliard *et al.*, 2003).

Al igual que la proteína, las características relacionadas con el contenido de grasa en la leche de cabra, pueden variar por diversos factores, entre algunos de los más importantes están relacionados con el tamaño de los glóbulos de la grasa de la leche de cabra, ya que cuentan con glóbulos de grasa de menor tamaño comparado con los de la leche de vaca, haciéndolos más fáciles de digerir, lo cual le provee una textura más suave a los productos lácteos derivados de la cabra (Silanikove *et al.*, 2010). En cuanto al contenido de ácidos grasos totales, se conoce que la leche de vaca presenta un bajo contenido comparado con los niveles en leche de cabra, con valores de 0.4 a 0.9% (Chilliard *et al.*, 2003).

La galutina es la proteína que se encarga de agrupar los glóbulos grasos para formar estructuras de mayor tamaño en la leche de vaca, por lo que la leche de cabra, al ser carente de esta proteína, mantiene los glóbulos de grasa dispersos lo que facilita su degradación por las enzimas digestivas (Chacón, 2005).

El suplementar dietas con grasa no demuestra cambios en la producción de leche sobre las cabras de lactancia media o tardía, ni en ovejas, pero si incrementa significativamente el contenido de grasa láctea; es lo contrario a lo que se observa en vacas lecheras, donde tiende a disminuir o no presentar cambios (Chilliard *et al.*, 2001). Cuando el balance energético del animal es negativo, el sistema usa los lípidos almacenados en tejido adiposo para abastecer los niveles mínimos requeridos para la producción de leche (Chilliard *et al.* 2003).

El contenido de grasa tiene variaciones de acuerdo al potencial genético de los animales, la etapa de lactancia y la composición de los nutrientes en la dieta, sin

embargo, tiende a ser más elevado después del parto para posteriormente disminuir durante la mayor parte de la lactancia de la cabra (Chilliard *et al.*, 2003).

2.7. CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE LA GLANDULA MAMARIA

La glándula mamaria es una glándula exocrina localizada en posición ventral que constituye un compartimento de almacenamiento lácteo (Shennan y Peaker, 2000). La ubre de la cabra está compuesta por dos glándulas mamarias lactantes conformada cada una por redes de pequeños conductos interlobulares (Marnet y McKusickb, 2001) forrados de células epiteliales secretoras polarizadas para formar cada alveolo, donde se produce la eyección de leche (McManaman y Neville, 2003).

Un conjunto de fibras de musculo liso producen contracciones espontáneas de las células mioepiteliales y del tejido conectivo vascularizado que los envuelve (McManaman y Neville, 2003), promoviendo la propagación de la expulsión de leche de los conductos alveolares hasta llegar a la cisterna de la glándula, compartimento con capacidad de almacenamiento lácteo que colecta la leche producida entre los ordeños. Aunque el tamaño de la ubre y la producción de leche son características correlacionadas positivamente, la cabra cuenta con una capacidad mayor de almacenamiento de leche en la cisterna, comparado con las vacas lecheras (Marnet y McKusickb, 2001).

El citoplasma de las células alveolares lactantes está conformado por numerosas mitocondrias, una red de retículo endoplásmico, un aparato de Golgi desarrollado y vesículas secretoras que contienen micelas de caseína presentes en la región apical de la célula, otorgándole estructura y transformando los componentes sanguíneos en producto lácteo (McManaman y Neville, 2003).

La diferenciación de la secreción de la glándula mamaria comienza en promedio a la mitad de la gestación, etapa que comprende la fase de lactogénesis caracterizada por el aumento de la expresión de algunos genes de las proteínas y la biosíntesis de enzimas, produciendo una diferenciación estructural y fisiológica de las propiedades bioquímicas de las células alveolares que son fundamentales para el desarrollo del transporte de solutos y lograr funciones secretoras. Durante este periodo se presenta un marcado aumento en el número de alveolos que conforman los lóbulos, dándole estructura que remplazará parte importante de la grasa presente, lo que implica una reorganización progresiva de la glándula mamaria dejando de ser un órgano adiposo para convertirse en una glándula secretora (McManaman y Neville, 2003).

La segunda etapa de lactogénesis se produce al final de la gestación en los rumiantes, en esta etapa ocurre la expresión del gen de la enzima biosintética; en los organelos celulares ocurre una polarización para la expansión de la mitocondria y el retículo endoplásmico rugoso y una maduración del aparato de Golgi (McManaman y Neville, 2003).

La caída de progesterona en el parto es un indicativo para el inicio de la secreción de leche y la activación del gen de proteína para procesos de biosíntesis (McManaman y Neville, 2003); mientras que la oxitocina no parece tener relación con la eficiencia de producción, ya que esta hormona continúa siendo secretada aun en el periodo seco (Marnet y McKusickb, 2001).

Los cambios en la composición de la leche comienzan por una caída de sodio y cloro junto al aumento de las concentraciones de lactosa en leche; esta modificación se produce después del parto y se completa hasta pasadas 72 h. Después ocurre un aumento en el volumen en la leche de las siguientes 24 h (McManaman y Neville, 2003).

2.8. PROCESO FISIOLÓGICO DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE

La eyección de la leche se produce en dos etapas, la primera comprende el vaciado de la leche almacenada en la cisterna y comienza de 0 a 30 segundos después de colocada la pezonera en el ordeño; el segundo flujo de leche se produce alrededor de 30 a 40 segundos después de colocadas las pezoneras, lo que indica que es leche alveolar obtenida por acción de reflejo hormonal (Marnet y McKusickb, 2001).

El volumen de producción láctea en la cabra está determinado en un 40% por el flujo de agua osmótica con la secreción de sodio, cloro y potasio; el restante lo dirige la lactosa junto con iones monovalentes secretados en el lumen de la glándula principalmente a través de vesículas derivadas del aparato de Golgi. La leche mantiene una carga eléctricamente positiva con concentraciones de sodio y potasio más bajas que la célula, por lo que la convierte en carga eléctricamente negativa con concentraciones de cloro más altas que las presente en leche, este mecanismo controla el paso de fluido dentro y fuera de las células contribuyendo de manera sustancial a la osmolaridad de la leche. Los gradientes de concentración del sodio, potasio y cloro controlan los intercambios de fluido presentes intracelular, extracelular y en la leche (Shennan y Peaker, 2000).

Los componentes de la leche de cabra son secretados mediante un proceso apócrino, que consiste en el paso de elementos lácteos a través de la membrana celular apical para ser secretados a la luz alveolar; durante el proceso de expulsión (Carole *et al.*, 2002), un fragmento del citoplasma celular se desprende junto con el producto lácteo (Haenlein, 2002). En las vacas lecheras mantienen una secreción merócrina realizando el mismo mecanismo aunque sin pérdida de citoplasma (Carole *et al.*, 2002).

2.9. PROCESO CELULAR DE LA PRODUCCIÓN DE LOS COMPONENTES LÁCTEOS

El agua, la urea, la glucosa, el sodio, potasio y cloro son sustancias que atraviesan la membrana celular, mientras que la caseína y otras proteínas de la leche, junto con la lactosa, el citrato y el calcio son excretados por el aparato de Golgi a través de una exocitosis. En la ruta de la grasa, los glóbulos lipídicos son excluidos desde el vértice de la célula secretora rodeados de una membrana; lo mismo ocurre con las hormonas liposolubles y algunos factores de crecimiento para liberarse al exterior de la célula. La vía de transcitosis, utilizada por la transferrina, la prolactina y algunas inmunoglobulinas durante la formación del calostro, permite el paso de sustancias directamente al fluido de la leche (Shennan y Peaker, 2000).

Los carbohidratos están conformados por oligosacáridos, glicopéptidos, glicoproteínas, azúcares de nucleótidos en pequeñas cantidades y por lactosa, siendo este el mayor componente (Park *et al.*, 2007). La lactosa es una sustancia osmolar presente en la leche con concentraciones relativamente altas; donde la secreción de agua en la glándula mamaria de la cabra se encuentra regulada en gran medida por la lactosa acompañada de un conjunto de iones. La acumulación intracelular de cloro a través del co-transporte de la membrana basolateral controla la secreción de iones y agua a través de la membrana apical. Un complejo enzimático conocido como sintasa de la lactosa la sintetiza en el aparato de Golgi para ser secretada en forma de vesícula por medio de una exocitosis, al ser una vesícula impermeable al agua, el volumen de leche secretada está relacionada con la síntesis de lactosa producida (Shennan y Peaker, 2000). Comparando la producción de lactosa entre la vaca y la cabra encontramos menor contenido de lactosa en la leche de cabra con un promedio de 4.1% siendo la vaca productora de lactosa hasta en un 4.7% en promedio (Silanikove *et al.*, 2010). El disacárido formador de lactosa está conformado por una glucosa y una molécula de galactosa (Park *et al.*, 2007).

La producción de proteínas está dada por dos fases, la fase micelar inestable integrada por micelas de caseínas vinculadas entre sí por fosfato de calcio y magnesio, sodio, potasio y citrato en pequeñas cantidades, lo que le otorga la apariencia blanca opaca a la leche. La fase soluble está compuesta por las proteínas lactoglobulina, lactoalbúmina y seroalbumina (Park *et al.*, 2007). La síntesis de proteína se inicia en los ribosomas para pasar al retículo endoplasmico donde un péptido manda una señal para activar el proceso, logrando que las moléculas de proteínas se plieguen, posteriormente las vesículas se transfieren al aparato de Golgi donde se empaquetan y maduran las micelas de caseína (Carole *et al.*, 2002) por efecto del calcio (Park *et al.*, 2007); finalmente las vesículas secretoras se trasladan a la membrana apical para fusionarse y ser liberadas a la luz alveolar (Carole *et al.*, 2002).

Los precursores lipídicos se sintetizan en el retículo endoplasmico liso produciendo triglicéridos para ser lanzados al citoplasma a base de pequeñas gotitas intracelulares que se fusionarán dando lugar a gotas más grandes (Carole *et al.*, 2002) rodeados por una membrana proveniente de las células epiteliales mamarias regulada por el complejo de ácido graso sintasa (Chilliard *et al.*, 2003). La secreción de la grasa está en función de la expresión del genotipo alpha S1-CN, el tamaño del glóbulo de grasa y la expresión de la proteína LDH (Cebo *et al.*, 2010). Al expresarse la proteína FAT (translocador de ácidos grasos) se induce en los fibroblastos la absorción y unión de ácidos grasos de cadena larga. Los ácidos grasos no estratificados se producen en el tejido mamario por la enzima lipoproteína lipasa presente en el endotelio capilar y probablemente en la célula secretora y son los encargados de llevar a cabo la absorción cuando es necesario el consumo de reservas lipídicas (Shennan y Pearker, 2000).

Los minerales presentes en leche se extraen del sistema circulatorio por efecto del mecanismo de la bomba Na-K que regula la osmolaridad del potasio entre la sangre y la leche; los niveles de calcio, fósforo y potasio son más altos en la leche, mientras que el cloro y el sodio son más bajos que en la sangre. Los niveles de cloruro están relacionados positivamente con el potasio y negativamente con la lactosa (Park *et al.*, 2007). El fosfato de la leche se deriva del circulante en el plasma sanguíneo llegando a las células secretoras donde el aparato de Golgi se encargará de formar vesículas para ser transportadas a través de las membranas basolaterales de la célula; el arseniato y el ácido fosfonofórmico se encargan de inhibir el transporte de fósforo al tejido mamario. Dado que el epitelio presente en la glándula en la etapa de lactancia es impermeable al

citrato, éste es sintetizado por las células secretoras del epitelio de la glándula mamaria y liberado por el aparato de Golgi a través de una exocitosis. La mayor parte del calcio en leche está presente en las micelas de caseína y se encuentra en sus formas químicas como calcio iónico libre, calcio-caseína y calcio con iones inorgánicos (ShennanyPeaker, 2000).

2.10. SISTEMA INMUNE DE LA GLANDULA MAMARIA

La respuesta inmune del hospedero comprende un reconocimiento oportuno y eficaz del patógeno para elaborar una cascada ordenada de mecanismos de respuesta (Paola *et al.*, 2012); por lo que la infección será capaz de desarrollar la enfermedad sólo si este proceso falla, produciendo un daño tisular dado por el aumento del movimiento leucocitario y los componentes presentes en el plasma sanguíneo. El propósito del proceso de respuesta inflamatoria es eliminar el tejido lesionado, restaurar la homeostasis inmune y un regresar a un funcionamiento normal de los tejidos (Aitken *et al.*, 2011).

La primera barrera de defensa contra la infección mamaria es el canal del pezón; (Paape y Capuco, 2014); al ingresar un patógeno se activa la defensa inmune de la ubre, proceso biológico complejo que implica una lucha entre las células inmunes, células epiteliales y endoteliales contra los patógenos invasores (Paola *et al.*, 2012), siendo ésta la segunda línea de defensa (Paape y Capuco, 2014); dando como resultado un aumento en el número de células somáticas en leche, predominando los neutrófilos ya que sus números aumentan de 10 a 50 veces durante las primeras horas después de la infección (Paola *et al.*, 2012).

2.11. CÉLULAS SOMÁTICAS

El grupo de células somáticas está conformado por diferentes tipos de células nucleadas, células epiteliales y leucocitos, según la Organización de Nacional de Normalización en México (ONN, 2012), cuya función es de defensa inmune en la ubre (Li *et al.*, 2014). Las células epiteliales son la primera línea de defensa de las glándulas mamarias y son las encargadas de producir leche, por ello, durante la lactancia se desprenden del epitelio mamario formando parte de la composición de la leche (Boutinaud y Jammes 2002).

Cada uno de los tipos de leucocitos tiene una función determinada que ayuda al control de la salud de la glándula. Los macrófagos y los neutrófilos son capaces de fagocitar células microbianas (Boutinaud y Jammes, 2002) eliminando patógenos y

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

células muertas. Los neutrófilos representan del 50 a 70% del conteo total de células somáticas en la leche de cabras sin infección intramamaria, mientras que en leche de vaca sólo constituyen del 5 al 20% del recuento celular (Paape y Capuco, 2014).

Una vez que se detecta la presencia de un patógeno, los macrófago liberan sustancias quimiotácticas para atraer a los neutrofilos hacia el sitio de infección, por otro lado interactúa con los linfocitos presentándole al antígeno el cual lo reconocerá a través de receptores de membrana específicos para cada patógeno (Boutinaud y Jammes, 2002).

Las células somáticas contienen lisosomas encargados de liberar enzimas proteolíticas activas, entre ellas la plasmina cuya acción es transformar la β -caseína en γ -caseína y polipéptidos más pequeños siendo la responsable de la coagulación de la leche, el aumento de la actividad de la plasmina provoca una discapacidad coagulante por la degradación de la caseína conduciendo a una reducción en las características cualitativas de la leche, por ende en el rendimiento del queso (Albenzio *et al.*, 2004). La plasmina también se encarga del proceso de involución celular de la ubre que comprende la reducción del número de estructuras y orgánulos en el citoplasma, principalmente del aparato de Golgi y el retículo endoplásmico rugoso, así como la interrupción de la unión epitelial. Las concentraciones de plasmina están sujetas a variaciones dependientes de factores fisiológicos, nutricionales y la salud de la ubre (Bianchi *et al.*, 2004).

Debido al tipo de secreción apócrina que tienen las cabras, la porción apical de las células secretoras de la glándula desprenden grandes cantidades de epitelio (Park y Humphrey, 1986) con un tamaño similar al de los leucocitos. Estas partículas no son clasificadas como células dada la ausencia de un núcleo o acidodesoxirribonucleico, aunque contienen grandes cantidades de ácido ribonucleico y proteínas, algunas de éstas partículas se han observado en leche (Eman y Esmat, 2014) contribuyendo al recuento total de células somáticas cuando los conteos reales de leucocitos son relativamente bajos. Esta situación es, contraria a la leche de vaca, ya que ésta especie tiene una secreción merócrina (Paape y Capuco, 2014) con un número insignificante de células epiteliales en la leche (Park y Humphrey, 1986).

Comparando las razas de cabras lecheras, encontramos que de manera natural la raza Nubia tiene recuentos de células somáticas más altos que la Alpina (Park y Humphrey, 1986). Barrón-Bravo *et al.* (2013) describe conteos de células somáticas más altos para cabras de la raza Alpina con una menor producción de leche cuyas pérdidas al

día de prueba oscilan entre 0.5 a 12.9%, mientras que la raza Oberhasli mantuvo niveles de conteos de células somáticas bajos con una mayor producción de leche en comparación con los diferentes grupos genéticos de cabras.

2.12. PRUEBAS DE CONTEO DE CÉLULAS SOMÁTICAS

En la actualidad existen diferentes tipos de métodos y equipos utilizados para detección mastitis. La prueba de California es ampliamente utilizada por ofrecer información concordante a las de leche de vaca, convirtiéndola en una prueba de primera mano con obtención de resultados de manera rápida a bajo costo. Equipos electrónicos automáticos como el Fossomatic[®], parece tener resultados muy similares, cuando es calibrado con base de leche de cabra y no con leche de vaca; con los obtenidos por la prueba de Pyronin Y-methylgreen que trabaja a base de identificación de ADN con resultados indicadores de mastitis exitosos; las pruebas NAGase y antitrypsin aunque trabajan de igual manera a base de identificación de ADN presentan variaciones dependiendo de la etapa de lactancia y el tipo de infección (Haenlein, 2002). El contador electrónico específico fluoro-óptico es el método más utilizado para determinación de células somáticas a base de ADN (Sánchez *et al.*, 2005).

2.13. CONTEO CELULAR DE LECHE DE CABRA SIN INFECCIÓN

La leche cruda de manera natural contiene células somáticas, predominando las células epiteliales, mientras que los leucocitos, incluyendo macrófagos, neutrófilos y los linfocitos, se encuentran en menor cantidad (Li *et al.*, 2014). Las células somáticas se encuentran controlando la salud de la ubre constantemente y no es hasta que detectan un patógeno que aumentan su presencia.

Los neutrófilos presentes en leche de vaca libres de infección intramamaria constituyeron del 5 al 20%, mientras que en la cabra del 45 al 74%, lo que sugiere que la migración de los leucocitos es más rápida en la cabra; debido a este proceso fisiológico natural, la regulación de las normas lácteas permiten índices más elevados en leche de cabra que en leche de vaca (Paape y Capuco, 2014). El parto produce un incremento de neutrófilos en leche de cabra y oveja (Haenlein, 2002, Raynal, *et al.*, 2007); es decir, previo al parto, los conteos celulares son bajos; mientras que durante el parto hay un aumento de neutrófilos del 52% en la primera lactancia, llegando hasta 69% para la cuarta

lactancia, mientras que los linfocitos disminuyen de un 12% a un 5% y los macrófagos del 20% a 14% (Haenlein, 2002).

La etapa del estro contribuye a un incremento de células somáticas aún en glándulas mamarias libres de infección; otros factores desencadenantes de estrés, como la vacunación o cambios alimenticios incrementan el conteo de células somáticas al igual que una infección viral como la artritis encefalitis caprina (Haenlein, 2002). Hasta un 48% de la variación de los conteos de células somáticas es explicado por factores como la raza, edad, tipo de parto y la época del año. Los conteos de células somáticas pueden fluctuar de un día a otro, particularmente en la última etapa de la lactancia (Raynal *et al.*, 2007).

2.14. MASTITIS

Mastitis es un término general que se refiere a la inflamación de la glándula mamaria, independientemente de la causa (Bazan *et al.*, 2009); se caracteriza por producir cambios bacteriológicos en la leche, junto con una alteración en la composición de la misma (Boutinaud y Jammes, 2002).

Esta patología se presenta en dos diferentes tipos; mastitis clínica, que va de aguda a crónica según la presentación de los signos, caracterizada por anomalías visibles en la ubre como dolor, enrojecimiento, inflamación, aumento de temperatura y leche con coágulos, hojuelas o secreción de color anormal (Bazan *et al.*, 2009), siendo a menudo, las bacterias coliformes ambientales las causantes (Paola *et al.*, 2012). La mastitis clínica tiene una incidencia inferior al 5% por año, aunque en un bajo porcentaje de rebaños la incidencia es mayor y puede exceder de 30 a 50% de los animales, causando mortalidad de hasta el 70% en el rebaño con brotes de *Staphylococcus aureus* y *estreptococos* (Dominique *et al.*, 2003).

La mastitis subclínica no causa signos visibles en el animal o en la leche, por lo que la detección se realiza mediante la medición del contenido celular en leche (células somáticas) (Bazan *et al.*, 2009) o con pruebas de campo como la de California.

La piel de la ubre tiene una población bacteriana normal principalmente de bacterias involucradas en la mastitis subclínica, en su mayoría *Staphylococcus spp*, como son *S. aureus* (Persson y Olofsson, 2011) o *Streptococcus agalactiae* (Paola *et al.*, 2012) misma que accidentalmente o por malas prácticas de ordeño, pueden ingresar al interior de las glándulas causando mastitis.

El equipo y la rutina de ordeño son los principales factores predisponentes con los cuadros de mastitis durante la lactancia; un mal funcionamiento de la máquina de ordeño, un vaciado insuficiente, el estrés generado por una ordeña dolorosa e incluso la morfología de la ubre o pezones producen una retención láctea en la glándula generando una presión o irritación en los tejidos que propicia el desarrollo de mastitis. Se debe tomar en cuenta que un aumento del nivel de vacío puede incrementar la presencia de células somáticas sin presentarse una mastitis clínica (Dominique *et al.*, 2003).



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

El presente estudio es considerado como retrospectivo, correlacional y predictivo, en el que se utilizaron algunos métodos estadísticos como correlaciones Pearson y diferentes modelos de regresión múltiple, incluyendo polinomios, con el objeto de predecir las pérdidas en la producción de leche, grasa y proteína al día de prueba, en función de diferentes variables de la lactancia como la determinación mensual de células somáticas de toda la lactancia y los días en producción al día de prueba, usando un modelo para cada variable dependiente.

3.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO

3.2.1. Características generales

Los datos de este estudio fueron obtenidos de doce rebaños pertenecientes a la Asociación Americana de Cabras Lecheras (de sus siglas en inglés American DairyGoatAssociation –ADGA-) de los Estados Unidos de Norteamérica, durante el período 2003-2010 que incluyeron 1,501 lactancias de las razas Saanen, Nubia, Toggenburg, Alpina, La Mancha y Cruzadas. Las cabras cruzadas fueron animales producto de cruces entre esas mismas razas, en distinto grado.

3.2.2. Ubicación espacio temporal

Los pesajes mensuales y las muestras de leche fueron recolectadas como parte del Sistema Oficial utilizado por la ADGA, que incluye las determinaciones de los contenidos de la leche (grasa y proteína), así como de las células somáticas. Los datos individuales sobre la producción de leche fueron obtenidos mensualmente durante la lactancia completa.

3.2.3. Criterios de inclusión, exclusión y eliminación.

Con el objeto de obtener estimadores con reducido margen de error y predicciones con coeficiente de determinación elevado (R^2), fueron eliminados los registros con fechas equivocadas, incompletos y aquellos fuera de un rango biológico normal.

Los datos promedio de producción de leche, porcentaje de grasa y proteína se transformaron de libras a kilogramos.

Se eliminaron ocho registros con un solo pesaje, diecisiete con dos pesajes, cinco lactancias de cabras con producciones mayores a cuatrocientos litros, cincuenta y cinco registros con más de seiscientos días en producción de leche, cuatro con más de 700 días secos, por lo que fueron eliminados un total de ochenta y nueve datos que representan el 5.9% del total del archivo, quedando la base de datos con un total de 1412 registros.

Con el fin de tener una variable cercana a una distribución normal, CCS fue transformado a una escala lineal de 0 a 9, definida como el puntaje de células somáticas (PCS) usando la siguiente fórmula (USDA, 2009):

$$PCS = \log_2 (CCS / 100000) + 3$$

3.3. TÉCNICAS PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN SUSTANTIVA

3.3.1. Análisis de laboratorio

La determinación de la cuenta de células somáticas (CCS) se llevó a cabo en equipos Somacount[®], que utiliza rayo láser basado en citometría de flujo, y fueron calibrados con leche de vaca. La grasa y proteína (G % y P %, respectivamente) se determinaron utilizando equipos a base de rayos infrarrojo de la marca Bentley[®].

3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO

4.4.1. Variables de medición

La información de cada cabra incluyó las siguientes variables: rebaño (RE), fecha de parto (FEPAR), número de lactancia (NL), tamaño de camada (TC), duración del período seco anterior (PS), días en lactancia en cada muestra (DL), raza (RA), porcentaje de grasa al día de la prueba (G%), porcentaje de proteína al día de prueba (P%), producción de leche al día de la prueba en kilogramos (PL), la cuenta de células somáticas al día de la prueba (CCS) y el puntaje de células somáticas (PCS). Se contaba además con información de

las producciones de leche por lactancia, producción de proteína y producción de grasa, así como el promedio de células somáticas de toda la lactancia.

3.4.2. Proceso de captación de la información

La información fue generada de rebaños de la American Dairy Goat Association para su posterior envío y realizar el presente estudio.

3.4.3. Análisis e interpretación de la información

Se valoró la información recolectada para conformar un archivo que incluyera únicamente los datos de interés para el estudio de cada cabra, eliminando variables sin aporte a la investigación; posteriormente se le asignó un orden a cada dato de manera que se llevara una secuencia de lo general a lo particular de la información de cada cabra agrupándola en datos generales de identificación del individuo, después los datos de producción de la lactancia completa y posteriormente los datos de producción generados mensualmente.

3.4.4. Pruebas estadísticas.

Los datos de todas las variables cuantitativas que se obtuvieron en los muestreos realizados se capturaron y ordenaron en una hoja electrónica de Microsoft Excel® para facilitar su análisis. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statgraphics Centurión, versión 16.

Utilizando el archivo completo, incluyendo la información de todas las razas (n=1412), se obtuvieron los estadísticos descriptivos de las variables de interés con el objeto de elaborar gráficas de las curvas de lactancia usando los promedios mensuales para producciones de leche, grasa, proteína, así como para la cuenta de células somáticas, todas evaluadas al día de prueba. Además, se estimaron correlaciones de Pearson entre el promedio de células somáticas de toda la lactancia (CCSPM), con cada uno de los pesajes mensuales (CCSi). Se utilizaron diferentes modelos de regresión múltiple utilizando como variable dependiente el promedio de células somáticas, la producción de leche, grasa y proteína, en función de las determinaciones mensuales de producción de leche, días en producción, células somáticas y otras variables de la lactancia, que se describen en detalle en apartados subsecuentes de esta misma sección.

3.4.5. Modelo estadístico.

Se utilizó un modelo de regresión múltiple utilizando como variable dependiente el promedio de células somáticas en función de las determinaciones mensuales de células somáticas (Stell y Torrie, 1997). El modelo fue:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + e_i$$

En donde:

y_i = promedio de células somáticas de toda la lactancia,

β_0 = ordenada de origen (constante);

β_i = i-ésimo coeficiente de regresión parcial debido a cada cuenta de células somáticas, del primero al n-ésimo pesaje,

X_n = cantidad de células somáticas de cada muestreo mensual, desde el primero hasta el n-ésimo,

e_i = residual

Debido a que el comportamiento de la producción de leche, días en leche y células somáticas a través de la lactancia suelen mostrar una figura con distribución de tipo curva, diferentes modelos polinomiales de segundo y tercer grado fueron probados usando el archivo completo ($n=1412$), incluyendo como variables independientes días en producción al día de prueba y CCS al día de prueba. Así mismo, este mismo modelo fue evaluado para distintas razas para primeras y posteriores lactancias. Los coeficientes de determinación obtenidos en estos análisis no fueron superiores al 38%, motivo por el cual se decidió evaluar/incluir otras variables en otro modelo de regresión.

Se utilizó un modelo de regresión múltiple, con el objeto de predecir la producción de leche, grasa y proteína, en función de las células somáticas de cada pesaje mensual de toda la lactancia (diez determinaciones), la duración (días) de toda la lactancia, el promedio de CS de toda la lactancia y los días en producción a cada pesaje (diez mediciones), haciendo un total de veintidos variables independientes y usando un modelo para cada variable dependiente (leche, grasa y proteína).

Para este análisis se utilizó el siguiente modelo:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \dots + \beta_n X_n + e_i$$

En donde:

y_i = i-ésima variable de respuesta (producción de leche, grasa o proteína), según corresponda,

β_0 = ordenada de origen (constante); parámetro desconocido que se estima a partir de las X_i y Y_i . Corresponde al punto de cruce de la recta de regresión con el eje de las Y's,

β_k = k-ésimo coeficiente de regresión parcial debido a cada variable independiente, el cual indica cuanto cambia Y por unidad de cambio en X; parámetros desconocidos que se estimarán a partir de las X_i y Y_i .

β_1 = coeficiente de regresión debido al promedio de células somáticas de toda la lactancia,
 X_1 = promedio de células somáticas de toda la lactancia,

β_2 = coeficiente de regresión debido a la duración (días) de toda la lactancia,
 X_2 = duración (días) de toda la lactancia,

β_3 = coeficiente de regresión debido a las células somáticas del pesaje 1,
 X_3 = células somáticas del pesaje 1, y sucesivamente hasta el pesaje 10 (X_p),

β_4 = coeficiente de regresión debido a los días en producción al pesaje 1,
 X_4 = días en producción al pesaje 1, y sucesivamente hasta el pesaje 10.

β_n = coeficiente de regresión debido a los días en producción al pesaje 10,
 X_n = días en producción al pesaje 10,

e_i = residual.

Los criterios para elegir el mejor modelo fueron: aquél con mayor coeficiente de determinación (R^2), menor cuadrado medio del error y en el que resultaron significativas las fuentes de variación (variables independientes). El coeficiente de determinación es un indicador que permite saber qué tanto de la variabilidad total de la variable dependiente es explicada por las variables independientes (X_i).

A partir del archivo completo (n=1412), se generaron archivos para cada raza; debido a la cantidad de análisis que se tenían que hacer se decidió realizarlos únicamente para la raza Alpina porque fue la que tuvo mayor cantidad de registros, respecto a las otras razas. El número de registros para Alpina fue de n=494. Se generó un segundo

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

archivo para esta misma raza, pero solo incluyendo información de primeras lactancias (n=231) y un tercer archivo que incluyó información de segundas y posteriores lactancias (n=263). A partir del modelo completo, las predicciones fueron hechas usando el modelo ajustado el cual incluyó las variables independientes que resultaron significativas ($P < 0.05$).

Con el objeto de evaluar variables tempranas de la lactancia como predictoras de la producción total de leche, grasa y proteína, se realizaron otros análisis de regresión múltiple incluyendo como variables independientes las primeras cuatro producciones de leche de la lactancia, días en producción de los primeros cuatro pesajes y el conteo de las células somáticas también de los primeros cuatro pesajes (12 variables en total). De manera similar a los análisis previos, las predicciones fueron hechas para leche, grasa y proteína usando el modelo ajustado el cual incluyó las variables independientes que resultaron significativas ($P < 0.05$).

3.5. LOGÍSTICA DEL PROYECTO

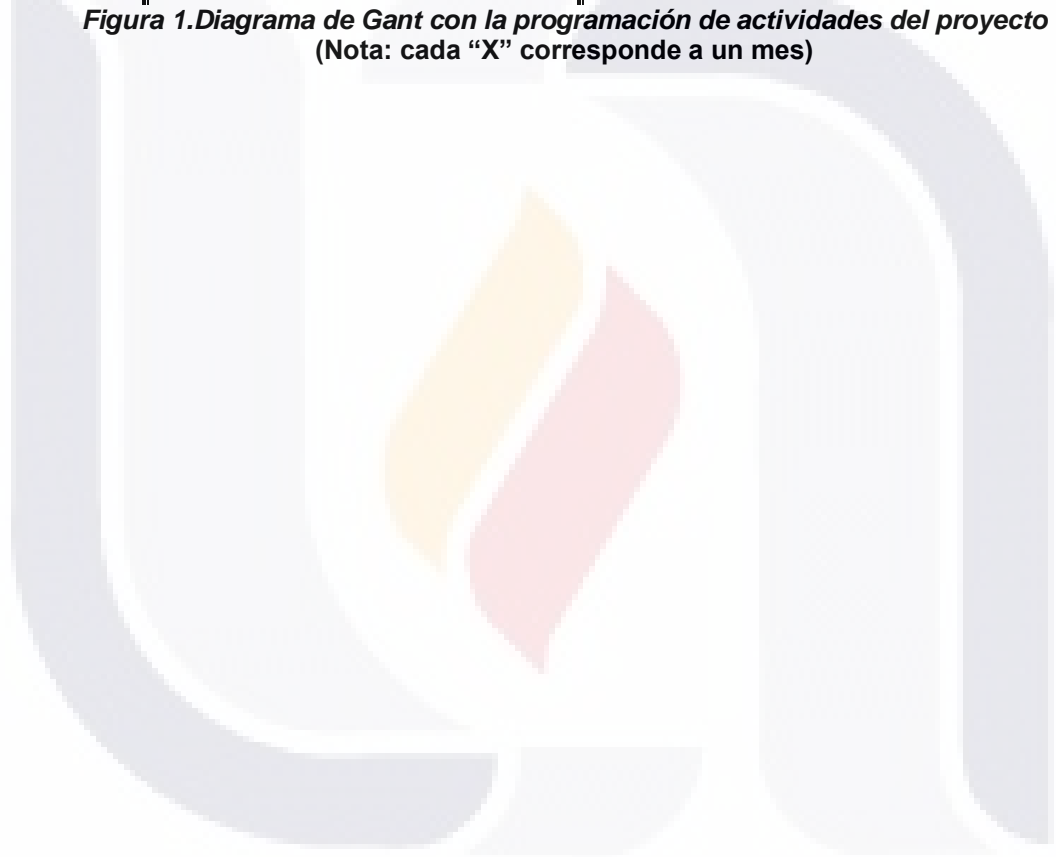
3.5.1. Programación de actividades

El presente estudio se llevó a cabo en el periodo de agosto 2014 a junio 2016 con el objetivo de predecir las producciones de leche, grasa y proteína de acuerdo al nivel de células somáticas en leche de cabra, para lo que se siguió un programa específico de trabajo.

En el siguiente diagrama (Figura No. 1) se presentan los conceptos generales que se llevaron a cabo durante el desarrollo del estudio; incluye desde la revisión de literatura, la selección de datos del archivo con el que se trabajó, así como los análisis estadísticos que se llevó a cabo para las estimaciones de producción. También se contemplan las actividades relacionadas con la difusión del estudio. Cada semestre se contaba con metas específicas a cumplir basadas en un plan de trabajo estipulando tiempos de realización y descripción de actividades para lograr avances continuos (Cuadro No. 1).

1. Puesta en Marcha	Revisión bibliográfica	XXXXXX			
	Selección de datos a evaluar	XXXXXX			
	Transformar valores	XXXXXX			
2. Realización	Obtención de estadísticos descriptivos		XXXXXX	XXXXXX	
	Elaboración curvas de lactancia		XXXXXX	XXXXXX	
	Evaluación de modelos estadísticos		XXXXXX	XXXXXX	
	Seminario de avances	X	X	X	X
3. Difusión	Redacción de artículo				XX
	Redacción de Tesis				XXXXXX
	Participación en congreso				X
	Preparación del examen de grado				X
<i>Etapa</i>	<i>Actividad</i>	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 3	Semestre 4

Figura 1. Diagrama de Gant con la programación de actividades del proyecto (Nota: cada "X" corresponde a un mes)



Cuadro1. Etapas de realización del proyecto

Número de Etapa:	001
Descripción:	Puesta en Marcha
Duración (meses):	6
Fechas	Inicio: 19 de Agosto de 2014 Fin: 11 de diciembre de 2014
Descripción de la Etapa:	Se realizó la integración de revisión de literatura así como revisión y depuración del archivo de datos a evaluar.
Descripción de la Meta:	Obtención de base de datos con archivos libres de información errónea o datos incompletos.
Productos de la Etapa:	Informe fundamentado sobre la puesta en marcha del proyecto.
Número de Etapa:	002
Descripción:	Realización del estudio en campo
Duración (meses):	12
Fechas	Inicio: 06 de enero de 2015 Fin: 11 de diciembre de 2015
Descripción de la Etapa:	Se realizaron los análisis estadísticos y se eligió aquél con mayor coeficiente de determinación, menor cuadrado medio del error y en el que resultaron significativas las fuentes de variación
Descripción de la Meta:	Obtención de predicción para producción de leche, grasa y proteína en leche de cabra.
Descripción de la Actividad:	Análisis de resultados y presentación en los seminarios de avances de investigación.
Productos de la Etapa:	Informe fundamentado e interpretado acerca de los resultados y alcance de los objetivos parciales propuestos.
Número de Etapa:	003
Descripción:	Difusión de resultados en eventos académicos
Duración (meses):	6
Fechas	Inicio: 06 de enero de 2016 Fin: 10 de junio de 2016
Descripción de la Etapa:	Se realizó la presentación de los resultados y sus repercusiones teóricas y prácticas en eventos académicos y en reuniones con productores interesados en el tema.
Descripción de la Meta:	Redacción de una versión de la tesis en el formato institucional y con las autorizaciones correspondientes. Participación como ponente en al menos en un congreso y en una reunión con productores. Cumplimiento de los requisitos para la autorización del examen de grado.
Productos de la Etapa:	Al menos una participación como ponente en un congreso y en una reunión con productores; Obtención de autorizaciones correspondientes a la tesis y del cumplimiento de los requisitos para el examen de grado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL ESTUDIO

En el cuadro 2 se muestran los estadísticos descriptivos de las variables de interés de este estudio en cabras lecheras.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos para variables de producción de leche y células somáticas en cabras incluyendo todos los registros (n=1412).

Variable	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Tamaño de camada	1.2	0.4	34.9
Días en producción	290	70.7	24.4
Días secos	89.4	76.9	86.0
Núm. de pesajes mensuales	7.8	2.3	30.4
Producción de leche (kg)	998	414.4	41.5
Producción de grasa (kg)	35.2	15.2	43.1
Producción de proteína (kg)	29.7	12.1	40.1
Número de lactancias	2.1	1.3	62.8
Células somáticas (miles)	508.3	131.9	25.9
Células somáticas (lineal)	5.3	0.4	7.9

En general los promedios de las distintas variables se encuentran dentro de los valores para cabras lecheras en estabulación. Los coeficientes de variación de producción de leche, grasa, proteína, así como el número de lactancias se encuentran elevados dada la variabilidad entre las razas y la cantidad de pesajes mensuales registrados para cada animal.

En las figuras 2 a 5 se presentan las curvas de lactancias para las características de producción de leche, porcentaje de grasa, de proteína y células somáticas, con base en los promedios mensuales, utilizando todos los registros (n=1412).

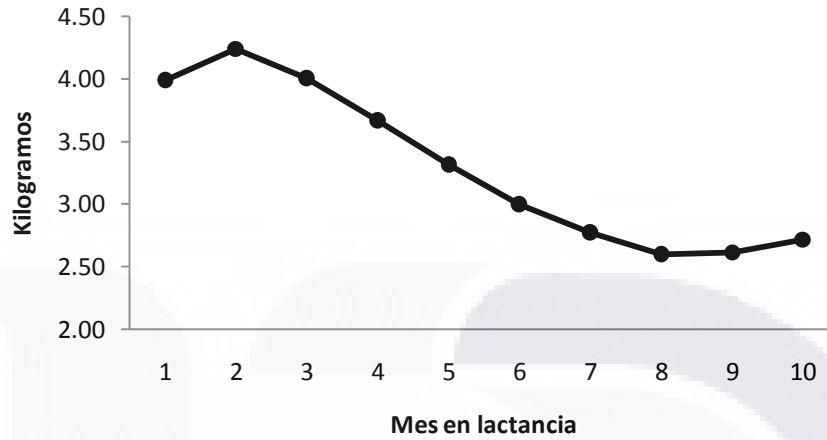


Figura 2. Curva de los promedios de producción de leche durante la lactancia usando todos los registros (n=1412).

La curva de producción de leche tiene una elevación pronunciada en el segundo mes para posteriormente descender gradualmente en el mes ocho.

Paape y Capuco (2014) indica que la curva de producción de leche tanto en cabras como en vacas alcanza su pico de producción máximo de la tercera a la cuarta semana después del parto y disminuye progresivamente después de alcanzar este pico. Cuando las cabras entran al final de la lactancia, la producción de leche disminuye (Fedaku *et al.*, 2005), después de cuatro semanas de ordeñar las cabras existe una pérdida de células epiteliales dentro del alveolo causada por apoptosis afectando la secreción de leche con una tendencia negativa en la producción a medida que avanza la lactancia (Boutinaud, 2002). En un estudio realizado con 25 cabras de segundo parto de la raza Saanen, bajo un manejo intensivo en la ciudad de Chile, reportaron los niveles más altos de producción de leche entre el segundo y cuarto mes de producción (Marín *et al.*, 2010). Oravcova y Margetín (2015) mencionan una curva de lactancia de acuerdo con el patrón general de cabras donde existe un aumento de leche a los días 100 a 130 con una posterior disminución. En un estudio con 244 ovejas de primer y segundo parto, se observó un patrón con un pico en la producción de leche entre los días 30 y 60 de la lactancia (Cappio, 1997).

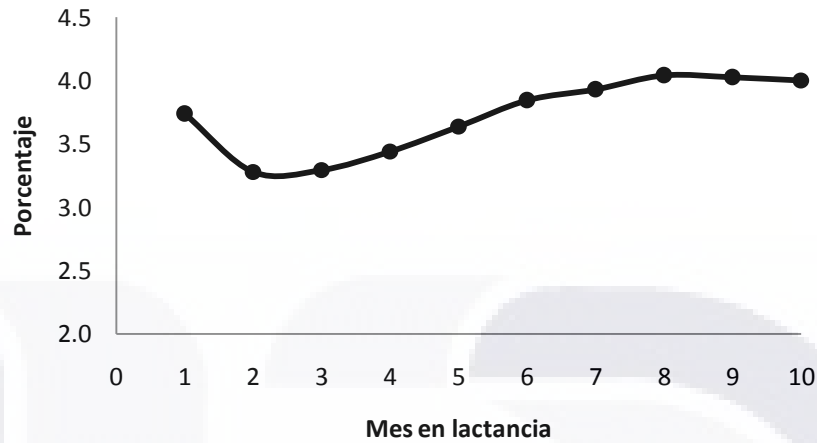


Figura 3. Curva de los promedios de porcentaje de grasa durante la lactancia usando todos los registros (n=1412).

La curva de porcentaje de grasa presenta una caída importante en el segundo mes para iniciar su incremento gradual para el resto de la lactancia, produciendo un efecto inverso a la curva de producción de leche, ya que a mayores volúmenes de leche menor será el contenido de grasa.

En un estudio de cabras de pelo corto en Eslovaquia, la curva de lactancia para la producción de grasa mostró una tendencia opuesta a la de producción de leche mostrando una reducción de los 100 a 130 días después del parto, para aumentar posteriormente. Esta investigación está basada en la influencia que tiene los días en leche, el número de camada, la nutrición, así como el mes en que las mediciones mensuales fueron tomadas (Oravcova y Margetín, 2015). En ovejas de raza Bovec e Improved Bovec, la producción de grasa disminuyó la primera semana después del parto para aumentar gradualmente al final de la lactancia (Komprej *et al.*, 2012). Para Cappio (1997), el parto no muestra efecto sobre el porcentaje de grasa manteniendo un aumento gradual de producción a lo largo de la lactancia en ovejas.

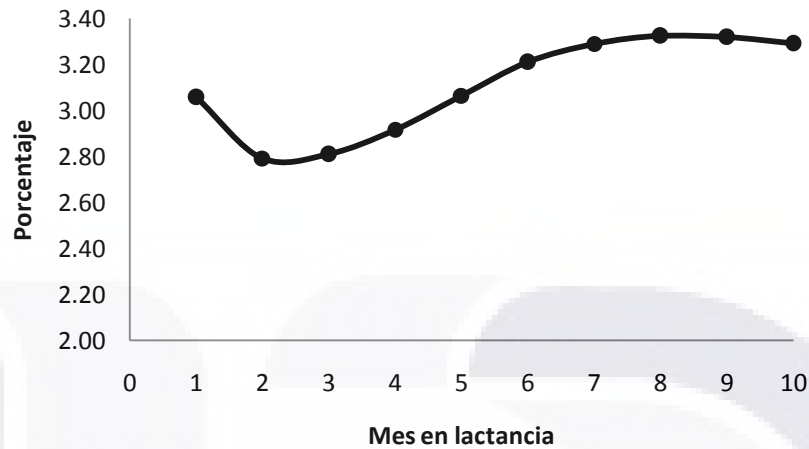


Figura 4. Curva de los promedios de porcentaje de proteína durante la lactancia usando todos los registros (n=1412).

La curva de porcentaje de proteína presenta una caída importante para el segundo mes para iniciar su incremento gradual para el resto de la lactancia, descendiendo ligeramente para el noveno y décimo mes.

Fedaku *et al.* (2005) mencionan que para finales de la lactancia la producción de leche en cabras disminuye, mientras que aumentan los sólidos, entre ellos la proteína. Cappio (1997), menciona un aumento de proteína gradual a lo largo de la lactancia mostrando el punto más bajo entre los 30 y 60 días cuando se da el pico de producción de leche en ovejas; para la primer y segunda lactancia mostró una limitada diferencia en el porcentaje de proteína probablemente relacionado a la reducción de la funcionalidad del rumen, a la ineficiencia de síntesis de la glándula mamaria y al uso de aminoácidos disponibles por el crecimiento de los tejidos. Komprej *et al.* (2012) también afirman que la curva de proteína aumenta gradualmente a lo largo de la lactancia en ovejas.

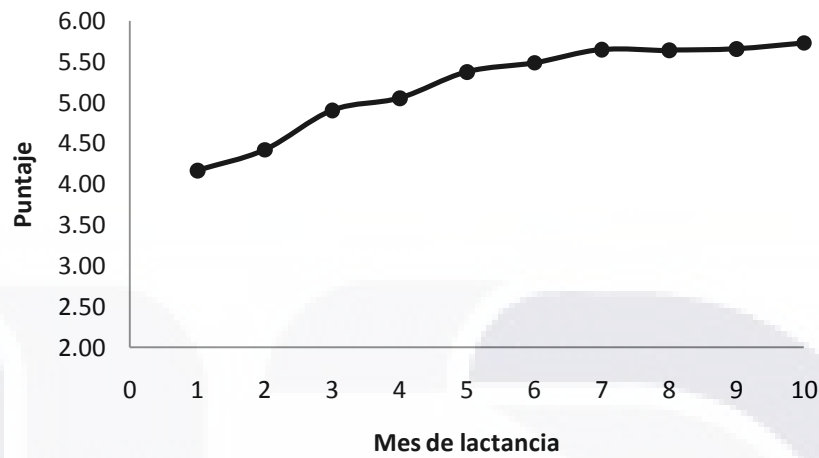


Figura 5. Curva de los promedios de conteo de células somáticas durante la lactancia usando todos los registros (n=1412).

La curva de conteo celular aumenta ligeramente en cada pesaje a través de la lactancia, siendo el tercer mes el que presenta la elevación más pronunciada comparada con los demás pesajes.

A medida que avanza la lactancia se elevan los conteos de células somáticas gradualmente, se considera un aumento significativo después del parto, así como en las últimas etapas de la lactancia debido a un incremento específico en los niveles de células polimorfonucleares ya que participan en la involución de la glándula mamaria (Boutinaud, 2002). En este estudio se observó un incremento gradual a través de la lactancia.

El aumento de células somáticas está asociado con el avance de la lactancia (Wilson *et al.*, 1995). Orman *et al.* (2011) encontraron conteos celulares más bajos en el pico de producción comparado con la etapa tardía de la lactancia. Leitner *et al.* (2011) coinciden con conteos celulares significativamente mayores ($P < 0,001$) a finales de la lactancia en leche de cabra, aun considerando el estado de las glándulas infectadas y no infectadas. Es común encontrar altos conteos de células somáticas al final de la lactancia en vacas y ovejas, lo que podría deberse a una respuesta inflamatoria aguda en la etapa de involución para prepararse para la siguiente lactancia (Barrón-Bravo *et al.*, 2013).

En el cuadro 3 se presentan las correlaciones estimadas entre el promedio de células somáticas de toda la lactancia, con los conteos de células de cada determinación mensual.

Cuadro 3. Correlaciones estimadas entre los promedios de células somáticas (CCSPM) de toda la lactancia con los conteos de células de cada determinación (CCSi).

	CCSPM	CCS1	CCS2	CCS3	CCS4	CCS5	CCS6	CCS7	CCS8	CCS9	CCS10
CCSPM		0.61 (1291)	0.7 (1289)	0.77 (1265)	0.75 (1245)	0.64 (1167)	0.67 (1075)	0.67 (927)	0.64 (767)	0.63 (522)	0.5 (275)
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CCS1			0.53 (1266)	0.47 (1252)	0.38 (1218)	0.31 (1148)	0.26 (1055)	0.3 (904)	0.22 (754)	0.23 (517)	0.1 (270)
			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.107
CCS2				0.61 (1260)	0.51 (1230)	0.42 (1147)	0.38 (1039)	0.4 (890)	0.34 (745)	0.29 (516)	0.17 (271)
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
CCS3					0.62 (1217)	0.5 (1142)	0.5 (1036)	0.45 (885)	0.37 (738)	0.3 (512)	0.29 (268)
					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CCS4						0.53 (1146)	0.51 (1034)	0.46 (884)	0.42 (740)	0.36 (516)	0.38 (272)
						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CCS5							0.45 (1031)	0.42 (885)	0.39 (738)	0.37 (515)	0.23 (270)
							0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CCS6								0.49 (920)	0.42 (756)	0.34 (518)	0.39 (272)
								0.00	0.00	0.00	0.00
CCS7									0.46 (758)	0.36 (517)	0.28 (271)
									0.00	0.00	0.00
CCS8										0.48 (520)	0.39 (271)
										0.00	0.00
CCS9											0.44 (272)
											0.00
CCS10											

CCSi=Conteo de células somáticas del mes i. Entre paréntesis se muestra el número de datos utilizados para la estimación de esa correlación. En la tercera línea se muestra el nivel de significancia de la correlación.

Se puede observar que todas las correlaciones entre el promedio de células somáticas con cada registro mensual durante la lactancia, fueron significativos ($P < 0.01$); CCS2 con CCS10 no resultó altamente significativo como el resto.

El aumento de los conteos celulares está influenciado por el parto y la etapa de lactancia (Paape *et al.*, 2007; Souza, 2012) en cabras y vacas. Para Paape *et al.* (2007), los recuentos de células somáticas en cabras fueron más bajos al inicio de la lactancia.

En el cuadro 4 se presentan los resultados de la regresión lineal múltiple para el promedio de células somáticas en función a las determinaciones mensuales de células somáticas.

Cuadro 4. Resultados del modelo de regresión lineal múltiple para el promedio de células somáticas, en función de las determinaciones mensuales de células somáticas.

Orden Variable	R ² parcial (%)	R ² del modelo (%)
CCS8	43.5	43.5
CCS3	16.7	60.2
CCS9	9.2	69.4
CCS4	3.8	73.2
CCS7	2.3	75.5
CCS2	1.5	77.0
CCS10	0.8	77.8
CCS5	0.6	78.4
CCS1	0.6	79.0
CCS6	0.4	79.4

R²=Coeficiente de determinación; CCSi= Conteo de células somáticas de cada mes (i=1, 2...,10)

Se observa que todas las determinaciones mensuales fueron significativas, explicando las variables independientes el 79.4% de la variación de las células somáticas promedio de toda la lactancia, siendo el pesaje número ocho (CCS8) el que más contribuyó en el incremento del R² (43.5%), lo que indica que CCS8 resultó ser la mejor variable predictora del promedio de células somáticas de toda la lactancia. La variable CCS6 resultó ser la variable que menor contribución tuvo en el R² (0.4%).

Las fluctuaciones de CCS descritas durante la lactancia en cabras y vacas en producción no está clara (Boutinaud, 2002). El efecto sobre los conteos de células somáticas en leche de cabra puede atribuirse a factores de origen propios de animal, la raza, el rebaño, la temporada de parto y la etapa de lactancia (Haenlein, 2002; Raynal *et al.*, 2007; Leitner *et al.*, 2011).

En los cuadros 5 a 10 se presentan los resultados de la regresión múltiple resaltando la asociación que existe entre los días en leche y las producciones de leche, grasa y proteína en leche de cabra.

Cuadro 5. Resultados del modelo de regresión múltiple para la producción de leche, grasa y proteína utilizando la raza Alpina (n=494).

Producción	Parámetro	Estimador	R ² parcial (%)	Valor de probabilidad
Leche	Constante	-1364.56		0.0001
	DAYTES10	5.84016	36.17%	0.0000
	DL	2.74623	41.71%	0.0000
	DAYTES3	19.3856	49.49%	0.0000
	DAYTES4	-16.6289	51.84%	0.0001
Grasa	Constante	-84.1625		0.0000
	DAYTES10	0.33672	54.06%	0.0000
	DL	0.11444	61.15%	0.0000
	CCS2	-1.4023	64.43%	0.0137
	DAYTES3	0.51209	67.38%	0.0006
Proteína	DAYTES4	-0.5319	69.37%	0.0001
	Constante	-41.276		0.0000
	DAYTES10	0.15063	37.98%	0.0001
	DL	0.08955	45.82%	0.0000
	DAYTES3	0.56832	47.97%	0.0000
	DAYTES4	-0.45263	54.86%	0.0001

R²=Coeficiente de determinación, DL=Días en leche, DAYTESi= Número de pesaje mensual, CCSi= Cuenta mensual de células somáticas.

La variable que resultó significativa del modelo fue DAYTESi para producción de leche, grasa y proteína. Al incorporarse en el modelo la variable DAYTES del pesaje número diez, el incremento del R² fue de 36.17, 54.06 y 37.98% para producción de leche, porcentaje de grasa y proteína, respectivamente. El modelo tuvo un R² de 51.84% para producción de leche, 69.37% para porcentaje de grasa y 54.86% para porcentaje de proteína.

Cuadro 6. Resultado del modelo de regresión múltiple para la producción de leche, grasa y proteína utilizando la raza Alpina de primera lactancia (n=231).

Producción	Parámetro	Estimador	R ² parcial (%)	Valor de probabilidad
Leche	Constante	-1314.1		0.0029
	DAYTES10	10.8539	36.37%	0.0001
	DL	2.36897	43.45%	0.0010
	DAYTES7	-10.282	49.41%	0.0019
	DAYTES2	7.15643	52.68%	0.0479
Grasa	Constante	-92.549		0.0000
	DAYTES10	0.29701	54.66%	0.0000
	DL	0.09495	43.94%	0.0003
Proteína	Constante	-45.038		0.0006
	DAYTES10	0.29043	40.60%	0.0003
	DL	0.08300	50.82%	0.0001
	DAYTES7	-0.2564	54.34%	0.0073
	DAYTES2	0.21497	57.47%	0.0413

R²=Coeficiente de determinación, DL=Días en leche, DAYTESi= Número de pesaje mensual.

La variable que resultó significativa del modelo fue días en leche para producción de leche, grasa y proteína. Al incorporarse en el modelo la variable días en leche del pesaje número diez el incremento del R² fue de 36.37, de 54.66 y 40.60% para producción de leche, porcentaje de grasa y de proteína, respectivamente. El modelo tuvo un R² de

52.68% para producción de leche, 43.94% para porcentaje de grasa y 57.47% para porcentaje de proteína.

Cuadro 7. Resultado del modelo de regresión múltiple para la producción de leche, grasa y proteína utilizando la raza Alpina de segunda y posteriores lactancias (n=263).

Producción	Parámetro	Estimador	R ² parcial (%)	Valor de probabilidad
Leche	Constante	-572.132		0.0611
	DL	3.86325	42.30%	0.0000
	CCS2	-75.8909	62.92%	0.0003
	DAYTES5	6.95461	66.54%	0.0001
	CCS1	-37.5791	69.17%	0.0393
Grasa	Constante	-56.9241		0.0012
	DAYTES10	0.290307	53.84%	0.0000
	CCS10	-2.27773	66.77%	0.0053
	CCS2	-1.88061	69.81%	0.0132
	DL	0.0752371	73.19%	0.0247
Proteína	Constante	-14.319		0.1050
	DL	0.118014	38.01%	0.0000
	DAYTES3	0.231267	52.04%	0.0009
	CCS2	-1.96028	62.26%	0.0012

R²=Coeficiente de determinación, DL=Días en leche, DAYTESi= Número de pesaje mensual, CCSi= Cuenta mensual de células somáticas.

La variable que resultó significativa del modelo fue DL para producción de leche, grasa y proteína. Al incorporarse en el modelo la variable días en leche el incremento del R² fue de 42.30% para producción de leche y 38.01% para porcentaje de proteína, al incorporar la variable días en leche del pesaje número diez el incremento del R² fue de 53.84% para porcentaje de grasa. El modelo presenta un R² de 69.17% para producción de leche, 73.19% para porcentaje de grasa y 62.26% para porcentaje de proteína.

Wilson *et al.* (1995) mencionan un efecto significativo de días en leche sobre la producción en cabras lecheras, también la raza, la etapa de lactancia y el parto fueron altamente significativos (P <0.01) (García-Peniche *et al.*, 2012).

En un estudio realizado en cabras, la interacción entre la raza y los días en leche no fueron significativos para la producción de proteína y grasa (P ≥ 0.05), mientras que el parto resultó significativo (P <0.01), excepto para el rendimiento de grasa (García-Peniche *et al.*, 2012).

Utilizando información de cabras de la Asociación Americana de Cabras Lecheras de los Estados Unidos de Norteamérica, los efectos del año, el rebaño y los días en leche resultaron significativos (P <0.01) para producción de proteína en cabras Alpinas primíparas, mientras que el tamaño de camada y la época del año no fueron significativos (P > 0.05); la interacción del año con el conteo de células somáticas fueron significativas para cabras de raza Alpina (Brarrón-Bravo *et al.*, 2013).

Cuadro 8. Resultados del modelo de regresión utilizando variables tempranas de la lactancia para producción de leche, grasa y proteína utilizando información de la raza Alpina (n=494).

Producción	Parámetro	Estimador	R ² parcial (%)	Valor de probabilidad
Leche	Constante	-248.195		0.0057
	PL4	168.287	61.71%	0.0000
	DAYTES4	3.13436	66.21%	0.0000
	PL2	54.6804	68.27%	0.0008
	CCS4	-24.7533	69.28%	0.0000
Grasa	PL1	31.7784	69.75%	0.0102
	Constante	-19.3555		0.0000
	PL4	5.75606	39.32%	0.0000
	DAYTES4	0.245211	46.55%	0.0000
	CCS4	-1.13102	47.77%	0.0002
Proteína	PL2	2.04464	49.09%	0.0014
	DAYTES1	-0.118243	49.66%	0.0267
	Constante	-9.20135		0.0008
	PL4	4.8419	55.52%	0.0000
	DAYTES4	0.11761	60.85%	0.0000
	PL2	1.99873	62.30%	0.0000
	CCS4	-0.674072	63.36%	0.0004

R²=Coeficiente de determinación, PLi=Producción de leche, DAYTESi= Número de pesaje mensual, CCSi= Cuenta mensual de células somáticas.

Las producciones del día de prueba (PLi) resultaron ser las que incrementaron en mayor porcentaje el R² para leche, grasa y proteína. Al incorporarse en el modelo la variable producción de leche del pesaje 4 el incremento del R² fue de 61.71% para producción de leche, 39.32% para porcentaje de grasa y 55.52% para porcentaje de proteína. El modelo presenta un R² de 69.75% para producción de leche, 49.66% para porcentaje de grasa y 63.36% para porcentaje de proteína.

Cuadro 9. Resultados del modelo de regresión utilizando variables tempranas de la lactancia para producción de leche, grasa y proteína utilizando información de la raza Alpina de primera lactancia (n=231).

Producción	Parámetro	Estimador	R ² parcial (%)	Valor de Probabilidad
Leche	Constante	-533.066		0.0001
	PL4	187.997	58.15%	0.0000
	PL2	103.789	63.25%	0.0000
	DAYTES4	9.25738	66.08%	0.0000
	CCS1	-28.076	67.31%	0.0017
Grasa	DAYTES3	-6.62361	68.57%	0.0058
	Constante	-43.0628		0.0000
	PL4	7.74705	38.45%	0.0000
	DAYTES4	0.499853	48.39%	0.0000
	DAYTES2	-0.364962	51.39%	0.0005
Proteína	CCS4	-1.17024	53.02%	0.0051
	PL2	2.86477	54.44%	0.0148
	Constante	-19.6746		0.0000
	PL4	5.40062	50.62%	0.0000
	DAYTES4	0.360233	57.42%	0.0000
	PL2	2.91764	60.02%	0.0001
	DAYTES3	-0.267009	61.75%	0.0006
	CCS1	-0.832267	63.35%	0.0040

R²=Coeficiente de determinación, PLi=Producción de leche, DAYTESi= Número de pesaje mensual, CCSi= Cuenta mensual de células somáticas.

De manera similar a lo ocurrido en los resultados de los análisis de la raza Alpina incluyendo todos los registros (cuadro 8), las producciones del día de prueba (PLi) resultaron ser las que incrementaron en mayor porcentaje el R² para leche, grasa y proteína. Al incorporarse en el modelo la variable producción de leche del pesaje 4 el incremento del R² fue de 58.15% para producción de leche, 38.45% para porcentaje de grasa y 50.62% para porcentaje de proteína. El modelo presenta un R² de 68.57% para producción de leche, 54.44% para porcentaje de grasa y 63.35% para porcentaje de proteína.

Cuadro 10. Resultados del modelo de regresión utilizando variables tempranas de la lactancia para la producción de leche, grasa y proteína utilizando información de la raza Alpina de segunda y posteriores lactancias (n=263).

Producción	Parámetro	Estimador	R ² parcial (%)	Valor de probabilidad
Leche	Constante	-242.123		0.0282
	PL4	153.897	61.50%	0.0000
	PL1	42.2043	68.48%	0.0039
	DAYTES3	3.62369	70.54%	0.0000
	PL2	61.114	71.50%	0.0013
Grasa	CCS4	-23.4234	72.37%	0.0071
	Constante	-9.59059		0.0935
	PL4	4.47494	40.63%	0.0000
	DAYTES4	0.145321	46.50%	0.0000
Proteína	PL2	2.88071	48.65%	0.0003
	CCS4	-1.00832	49.88%	0.0174
	Constante	-11.6869		0.0001
	PL4	4.81386	58.45%	0.0000
	DAYTES3	0.131592	64.20%	0.0000
	PL1	42.2043	67.11%	0.0039
	PL2	2.12694	67.55%	0.0000

R²=Coeficiente de determinación, PLi=Producción de leche, DAYTESi= Número de pesaje mensual, CCSi= Cuenta mensual de células somáticas.

Al incorporarse en el modelo la variable producción de leche del pesaje 4 el incremento del R² fue de 61.50% para producción de leche, 40.63% para porcentaje de grasa y 58.45% para porcentaje de proteína. El modelo presenta un R² de 72.37% para producción de leche, 49.88% para porcentaje de grasa y 67.55% para porcentaje de proteína. En relación a los resultados obtenidos previamente para la raza Alpina usando todos los registros e incluso para primeras lactancias, cuadros 8 y 9, en este modelo se obtuvieron los mayores coeficientes de determinación, lo que permitió obtener predicciones más precisas para leche.

En el cuadro 11 se presentan las producciones de leche predichas para la raza Alpina de segunda y posteriores lactancias, cuyo modelo tuvo un R² de 69.17%. El modelo ajustado fue:

$$PL = -572.132 + 6.95461 \cdot (DT5) + 3.86325 \cdot (DL) - 37.5791 \cdot (CCS1) - 75.8909 \cdot (CCS2), \text{ donde:}$$

PL=producción de leche predicha (kg por lactancia),
La ordenada de origen tuvo un valor de -572.132,

DT5= días en producción al pesaje 5,
 DL=días en producción de leche de toda la lactancia,
 CCS1=Cuenta de células somáticas al pesaje 1,
 CCS2= Cuenta de células somáticas al pesaje 2,

Cuadro 11. Predicciones para la producción de leche utilizando la raza Alpina de segunda y posteriores lactancias (n=263).

Cabra	DT5	DL	CCS1	CCS2	Predicción (Kg por lactancia)
1	174	300	4.152	4.396	1307.1
2	174	300	3.9	3.9	1354.2
3	174	300	6.5	7.0	1021.3
4	150	250	4.1	4.3	956.3
5	190	250	6.5	7.5	901.4
6	174	300	9	9	775.5
7	185	285	2	2	1588.4

DL=Días en producción de leche de toda la lactancia, DT5= Días en producción al pesaje 5, CCSi= Cuenta de células somáticas al i-esimo pesaje.

Se puede observar que al disminuir la cantidad de CCS1 y CCS2, la producción de leche predicha se incrementa, como es el caso de la cabra número 7. De manera contraria, al incrementar las variables de células somáticas, la producción de leche disminuyó como fue el caso de las cabras 3 y 5. Es claro que el efecto de otras fuentes de variación en este modelo, como la duración de la lactancia y los días en producción al quinto pesaje, afectan de manera importante la predicción.

En el cuadro 12 se presentan las producciones de leche predichas para la raza Alpina de segunda y posteriores lactancias utilizando variables tempranas, cuyo modelo tuvo un R² de 72.37%. El modelo ajustado fue:

$$PL = -242.12 + (153.89 \cdot PL4) + (42.2 \cdot PL1) + (3.62 \cdot DT3) + (61.6 \cdot PL2) - (24.42 \cdot CCS4), \text{ donde:}$$

PL=producción de leche predicha (kg por lactancia),
 La ordenada de origen tuvo un valor de -242.12,
 PL4= producción de leche al pesaje cuatro,
 PL1= producción de leche al primer pesaje,
 DT3= días en producción al pesaje tres,
 PL2= producción de leche al pesaje uno,
 CCS4=Cuenta de células somáticas al pesaje cuatro,

Cuadro 12. Predicciones para la producción de leche utilizando variables tempranas de la lactancia para la raza Alpina de segunda y posteriores lactancias (n=263).

PL por lactancia kg (Real)	PL4	PL1	DT3	PL2	CCS4	Predicción (Kg por lactancia)
1124.7	5.49	5.85	91	6.62	7.5	1403.7
1986.3	6.39	6.35	109	5.9	6.2	1615.8
1346.9	5.8	4.76	77	7.66	4.8	1484.7
1546.4	6.89	6.62	83	7.26	6.5	1686.5
1260.7	6.3	5.71	84	5.08	5.4	1453.5
444.4	2	2.18	82	1.45	6.5	385.1
1043.1	3.67	4.08	100	3.85	5.6	957.2
598.6	3.67	2.72	81	3.81	2.7	899.4
507.9	3.36	2.58	73	3.9	5	766.2
1038.5	4.13	7.21	114	5.58	8.7	1241.7

PL=producción de leche; PL4=producción de leche del pesaje cuatro; PL1=producción de leche del pesaje uno; DT3= Días en producción al pesaje 3; PL2=producción de leche del pesaje dos; CCS4= Cuenta de células somáticas del pesaje 4.

De manera similar a las predicciones previas, la producción de leche por lactancia se vio influida por los valores de cada una de las variables independientes. A pesar de que CCS resultó significativa ($P < 0.01$), no se observan en la producciones predichas pérdidas importantes cuando ésta tiene valores altos. Sin embargo, las producciones de los pesajes uno, dos y cuatro, tienen una relación muy estrecha con la predicción de leche por lactancia. Se estimó adicionalmente la correlación entre la producción de leche real de las cabras, con la producción de leche predicha, y tuvo un valor alto y positiva de 0.852 ($P < 0.01$), sugiriendo que la precisión en la predicción es adecuada y que esta metodología puede ser usada para la selección temprana de animales, dirigir apareamientos y tomar decisiones sobre el desecho de animales.

5. CONCLUSIÓN

La curva de lactancia mostró un incremento gradual de los conteos celulares a lo largo de toda la lactancia. Todas las correlaciones estimadas fueron significativas ($P < 0.01$) siendo las más altas entre las células somáticas de la segunda, tercera y cuarta determinación mensual (de 0.7 a 0.77). En el modelo de regresión múltiple para el promedio de las células somáticas de la lactancia, todas las determinaciones mensuales de células somáticas fueron significativas, explicando el 79.4% de la variación del promedio de células somáticas de toda la lactancia, siendo el pesaje número ocho el que más contribuyó en el incremento del coeficiente de determinación (43.5%). Días en leche fue la variable que incidió en mayor medida a las variables de producción de leche, grasa y proteína. La correlación entre la producción de leche predicha y la producción de leche por lactancia real de las cabras fue de 0.85. Al ser variables biológicas y debido a que el coeficiente de determinación explicó el 72.37% de la variación de la producción de leche predicha, se consideran adecuadas las predicciones realizadas en este estudio.

Los productores de leche de ganado caprino, deberán de trabajar de forma integral en un programa de manejo preventivo para el control de las células somáticas en la leche de las cabras en producción, con la intención de mantener los niveles más bajos posibles. Con la metodología de predicción de producción de leche, grasa y proteína implementada en este estudio, los productores de cabras tienen una herramienta importante que puede ser utilizada para la toma de decisiones.

GLOSARIO

Absorción. Proceso por el cual los tóxicos cruzan las membranas celulares y entran en la circulación sanguínea o sistema linfático.

Ácido desoxirribonucleico (ADN). Molécula compleja, integrante de los cromosomas, que almacena la información hereditaria en forma de variaciones en la secuencia de las bases de purina y pirimidina; esta información se traduce en la síntesis de las proteínas, por lo que es determinante de todas las características físicas y funcionales de las células y del organismo.

Ácido pentoténico(B5). Vitamina hidrosoluble del complejo B que interviene en la síntesis de hormonas antiestrés y necesaria para la asimilación de carbohidratos, lípidos y proteínas.

Ácido ribonucleico (ARN). Ácido nucleico de cadena sencilla compuesto por los nucleótidos adenina, uracilo, guanina y citosina. En las células sirve como intermediario de la información genética ya que copia ésta del ADN y en el citoplasma dirige la síntesis de proteínas según su secuencia de nucleótidos.

Alaninaaminotransferasa (ALT). Enzima involucrada en la transferencia de aminoácidos. Se utiliza para evaluar daño hepático, principalmente.

Albúmina. Proteína que se encuentra en gran proporción en el plasma sanguíneo, siendo la principal proteína de la sangre; es sintetizada en el hígado.

Alveolo. Cavidad en forma de saco pequeño que se encuentra en la zona de la glándula mamaria, encargado de realizar el acopio de los componentes lácteos.

Apócrino. Tipo de glándula sudorípara donde una parte del citoplasma apical se libera junto con el producto de secreción.

Artritis-encefalitis caprina. Enfermedad que afecta diversos sistemas de los caprinos domésticos y que se manifiesta de forma persistente durante toda la vida del animal infectado, la infección es causada por un virus de la familia Retroviridae.

Aspartatoaminotransferasa (AST). Enzima presente normalmente en el suero y en ciertos tejidos corporales, que actúa sobre la transferencia intermolecular de un grupo amino desde el ácido aspártico al ácido alfaacetoglutarico, para formar ácido glutámico y ácido oxaloacético.

Calcio (Ca). Mineral que se concentran en los huesos y dientes, el 1% se distribuye en el torrente sanguíneo, los líquidos intersticiales y las células musculares.

Caprino. Género de mamíferos artiodáctilos de la familia Bovidae que suelen conocerse comúnmente como cabras.

Caprinocultura. Actividad que consiste en el manejo de hatos enfocada en el desarrollo de modelos para la crianza de cabras.

Caseína. Es una fosfoproteína presente en la leche de los mamíferos que contiene altos niveles de fósforo.

Celula somática. Son aquellas que participan en el crecimiento de los tejidos y órganos de un ser vivo pluricelular, conformadas por diferentes tipos de células nucleadas, células epiteliales y leucocitos.

Censo. Padrón o lista donde se contabilizan los habitantes de una población para recabar información con fines estadísticos.

Cobalamina (B12). Es una vitamina hidrosoluble que contiene cobalto, esencial para el funcionamiento normal del cerebro, del sistema nervioso, y para la formación de la sangre y de varias proteínas.

Coefficiente de determinación. Es una medida estadística de la bondad del ajuste o fiabilidad del modelo estimado a los datos. Se representa por R^2 e indica cuál es la proporción de la variación total en la variable dependiente (Y), que es explicada por el modelo de regresión estimado, es decir, mide la capacidad explicativa del modelo estimado.

Coefficiente de variación. Es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media, su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación típica o estándar.

Correlación. Acción que determina la relación o dependencia que existe entre dos variables que intervienen en una distribución bidimensional.

ELISA (ensayo de inmunoabsorción ligado a enzimas). Es un ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas para la cuantificación de la presencia de un antígeno usando una enzima enlazada a un anticuerpo para el antígeno.

Enzima. Proteína soluble producida por las células del organismo, que favorece y regula las reacciones químicas en los seres vivos.

Exocitosis. Proceso mediante el cual se secretan diferentes tipos de moléculas contenidas en una vesícula citoplasmática de una célula al espacio extracelular, expresándose en todas las células eucariotas.

Fenotipo. Conjunto de caracteres visibles que un individuo presenta como resultado de la interacción entre su genotipo y el medio ambiente.

Genotipo. Conjunto de genes característicos de cada especie, vegetal o animal, es decir, son los genes en formato de ADN que un animal o vegetal recibe de herencia de parte de sus dos progenitores y que por tanto se encuentra conformado por las dos dotaciones de cromosomas que contienen la información genética del ser en cuestión.

Homeostasis. conjunto de fenómenos de autorregulación que intentan mantener equilibradas las composiciones y las propiedades del organismo.

Lactogenesis. Proceso mediante el cual se operan transformaciones que hacen de la mama un órgano secreto.

Lactosa. Es un disacárido formado por la unión de una molécula de glucosa y otra de galactosa. Concretamente intervienen una β -D-galactopiranososa y una D-glucopiranososa unidas por los carbonos 1 y 4 respectivamente. Al formarse el enlace entre los dos monosacáridos se desprende una molécula de agua que aparece en la leche de las hembras de los mamíferos.

Linfocito. Leucocito de tamaño pequeño y núcleo redondeado que normalmente está presente en la sangre y en los tejidos linfáticos; su función está estrechamente relacionada con los mecanismos de defensa inmunitarios.

Lípido. Molécula orgánica compuesta por carbono e hidrógeno y en menor medida por oxígeno, fósforo, azufre o nitrógeno. Su propiedad principal es ser hidrofóbica, se encarga de constituir una reserva energética, de formar las bicapas de las membranas y actúa como regulador de hormonas esteroideas. A los lípidos también se les denominan grasas.

Macrófago. Célula del sistema inmune de mayor tamaño que tiene capacidad de fagocitar partículas grandes y que se encarga de destruir los antígenos y las células que los transportan para presentarlos a los linfocitos encargados de iniciar el proceso inmunológico.

Magnesio (Mg). Tipo de vitamina B hidrosoluble Mineral que forma parte de los huesos; actúa como activador de enzimas e interviene en la transmisión del impulso nervioso y la relajación muscular.

Mastitis. Es la inflamación de la glándula mamaria causada o no por una infección bacteriana.

Merócrino. Mecanismo que se lleva a cabo por exocitosis, donde se libera el producto de secreción sin pérdida de sustancia celular.

Metabolito. Cualquier producto intermedio o final resultante del metabolismo.

Neutrófilo. Leucocitos de tipo granulocito que mide de 9 a 12 μm , su función principal es fagocitar.

Oligosacárido. Polímeros de hasta 20 unidades de monosacáridos. La unión de los monosacáridos tiene lugar mediante enlaces glicosídicos, un tipo concreto de enlace acetálico.

Ordeñar. Acto de extraer la leche de la glándula mamaria de un mamífero.

Patógeno. Agente biológico externo que se aloja en un ente biológico determinado, dañándolo de alguna manera produciéndole una enfermedad.

Péptido. Molécula compuesta a partir de los vínculos que entablan ciertos aminoácidos.

Plasmina. Es una proteasa de amplio espectro que destruye a la fibrina durante el mecanismo de la fibrinólisis; este proceso fisiológico permite disolver los trombos de sangre, formados por fibrina, alcanza a la coagulación sanguínea y evita la aparición de trombosis.

Plasminógeno. es una glicoproteína sintetizada por el hígado, presente en el plasma sanguíneo y la mayor parte del fluido extracelular como el precursor inactivo de una enzima proteasa llamada plasmina. El plasminógeno es el componente central del sistema fibrinolítico del organismo, es decir, actúa en la disolución de coágulos sanguíneos.

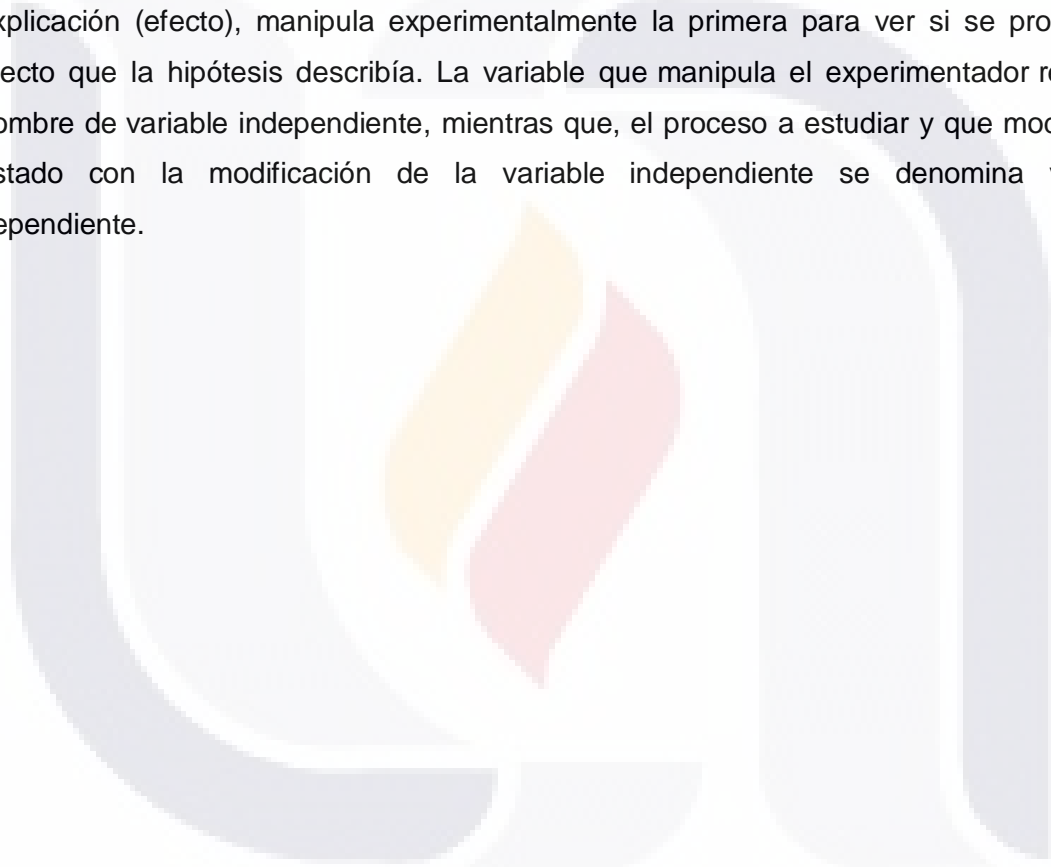
Riboflavina (B2). Tipo de vitamina B hidrosoluble que participa en la respiración celular, el mantenimiento de las vainas de mielina de las neuronas, la desintoxicación hepática, el crecimiento y beneficia la conservación de la piel, las uñas, el cabello y la córnea del ojo.

Selenio (Se). Mineral que se incorpora a las proteínas, en su mayoría enzimas, para ejercer una función antioxidante en los mamíferos. Su actividad complementa a la de la vitamina E, ya que estimula el sistema inmunológico favoreciendo la producción de glóbulos blancos.

Toxicidad. Capacidad para producir daño a un organismo vivo, en relación con la cantidad o dosis de sustancia administrada o absorbida, la vía de administración y su distribución en el tiempo (dosis única o repetidas), tipo y severidad del daño, tiempo necesario para producir éste, la naturaleza del organismo afectado y otras condiciones intervinientes.

Urea. Sustancia orgánica tóxica, resultante de la degradación de sustancias nitrogenadas en el organismo de muchas especies de mamíferos, que se expulsa a través de la orina y del sudor.

Variable. Objeto, proceso o característica que está presente, o supuestamente presente, en el fenómeno que un científico quiere estudiar. En la verificación experimental, el investigador intenta reproducir artificialmente los fenómenos que se dan de forma espontánea en la realidad y que desea comprender; cuando dispone de una hipótesis que establece un supuesto vínculo causal entre un proceso (causa) y proceso que exige una explicación (efecto), manipula experimentalmente la primera para ver si se produce el efecto que la hipótesis describía. La variable que manipula el experimentador recibe el nombre de variable independiente, mientras que, el proceso a estudiar y que modifica su estado con la modificación de la variable independiente se denomina variable dependiente.



BIBLIOGRAFÍA

- Aitken, S., Corl, C., Sordillo, L., 2011. Immunopathology of Mastitis: Insights into Disease Recognition and Resolution. *J Mammary Gland Biol Neoplasia* 16:291–304.
- Albenzio, M., Caroprese, M., Santillo, A., Marino R., Muscio, A., Sevi, A., 2005. Proteolytic patterns and plasmin activity in ewe's milk as affected by somatic cell count and stage of lactation. *J. Dairy Res.* 72: 86-92.
- Albenzio, M., Caroprese, M., Santillo, A., Marino, R., Taili, L., Sevi, A., 2004. Effects of somatic cell count and stage of lactation on the plasmin activity and cheese making properties of ewe milk. *J. Dairy Sci.* 87: 533-542.
- Alexander, T., Lorenzo-Enrique, H., Antonio, M., Davinia, S., Isabel, M., Noemi, C., Juan, C., Anastasio, A., 2014. Short-term effects of milking frequency on milk yield, milk composition, somatic cell count and milk protein profile in dairy goats. *J. Dairy Res.* 81 275–279.
- Banderas, P. 2001. Producción de cabras lecheras. Gobierno regional Bio-INIA. Boletín INIA 66.
- Barrón-Bravo, O.G., Gutiérrez-Chávez, A.J., Ángel-Sahagún, C.A., Montaldo, H., Shepard L., Valencia-Posadas, M., 2013. Losses in milk yield, fat and protein contents according to different levels of somatic cell count in dairy goats. *Small Rumin. Res.* 113: 421–431.
- Bazan, R., Cervantes, E., Salas, G., Segura-Correa, J., 2009. Prevalencia de mastitis subclínica en cabras lecheras en Michoacán, México. *Revista Científica, FCV-LUZ* 19: 334 - 338.
- Bernacka, H., 2006. Cytological quality of goat milk on the basis of the somatic cell count. *J. Central Eur. Agric.* 7, 773–778.
- Bianchi, L., Bolla, A., Budelli, E., Caroli, A., Casoli, C., Pauselli, M., Duranti, E., 2004. Effects of udder health status and lactation phase on the characteristics of Sardinian ewe milk. *J. Dairy Sci.* 87: 2401-2408.
- Blood, D.C., y Radostits, O.M., 1989. *Veterinary Medicine.* 7th Edition, Bailliere Tindale, 501-559.
- Boutinaud, M., Jammes, H., 2002. Potential uses of milk epithelial cells: a review. *Reprod Nutr Dev* 42:133–147.

- Boutinaud, M., Rousseau, C., Keisler, D., Jammes, H., 2003. Growth hormone and milking frequency act differently on goat mammary gland in late lactation. *J. Dairy Sci.* 86: 509–520.
- Cappio-Borlino A., Portolano, B., Todaro, M., Macciotta, N., Giaccone, P., Pulina, G. 1997. Lactation Curves of Valle del Belice Dairy Ewes for Yields of Milk, Fat, and Protein Estimated with Test Day Models. *J. Dairy Sci.* 80:3023–3029.
- Carole, N., Alain, R., Guy, M., Jean-Fran_cois, C., Patrice, M., 2002. Is the apocrine milk secretion process observed in the goat species rooted in the perturbation of the intracellular transport mechanism induced by defective alleles at the_s1-Cn locus?. *Reproduction Nutrition Development, EDP Sci.* 42 (2), pp.163-172.
- Cebo, C., Caillat, H., Bouvier, F., Martin, P. 2010. Major proteins of the goat milk fat globule membrane. *J. Dairy Sci.* 93:868–876.
- Chacón, A. 2005. Aspectos nutricionales de la leche de cabra (*Capra hircus*) y sus variaciones en el proceso agroindustrial. *J Agron Mesoamericana* 16(2): 239-252.
- Chen, S., Wang, J., Van, J., Ren, F., Zeng, S., 2010. Effect of somatic cell count in goat milk on yield, sensory quality, and fatty acid profile of semisoft cheese. *J. Dairy Sci.* 93:1345–1354.
- Chilliard Y., Ferlay A., Rouel J., Lamberet G., 2003. A Review of Nutritional and Physiological Factors Affecting Goat Milk Lipid Synthesis and Lipolysis. *J. Dairy Sci.* 86:1751–1770.
- Chilliard, Y., Ferlay A., Doreau, M., 2001. Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livest. Prod. Sci.* 70:31–48.
- CONARGEN, 2014. Consejo Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios. Asociaciones. Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Caprino de Registro. Disponible en: <http://www.conargen.mx/>.
- CONARGEN, 2016. Consejo Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios. Asociaciones. Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Caprino de Registro. Disponible en: <http://www.conargen.mx/>.
- Cremonesi, P., Capoferri, R., Pisoni, G., Del Corvo, M., Strozzi, F., Rupp, R., Caillat, H., Modesto, P., Moroni, P., Williams, J., Castiglioni, B. y Stella, A., 2012. Response of the goat mammary gland to infection with *Staphylococcus aureus* revealed by gene

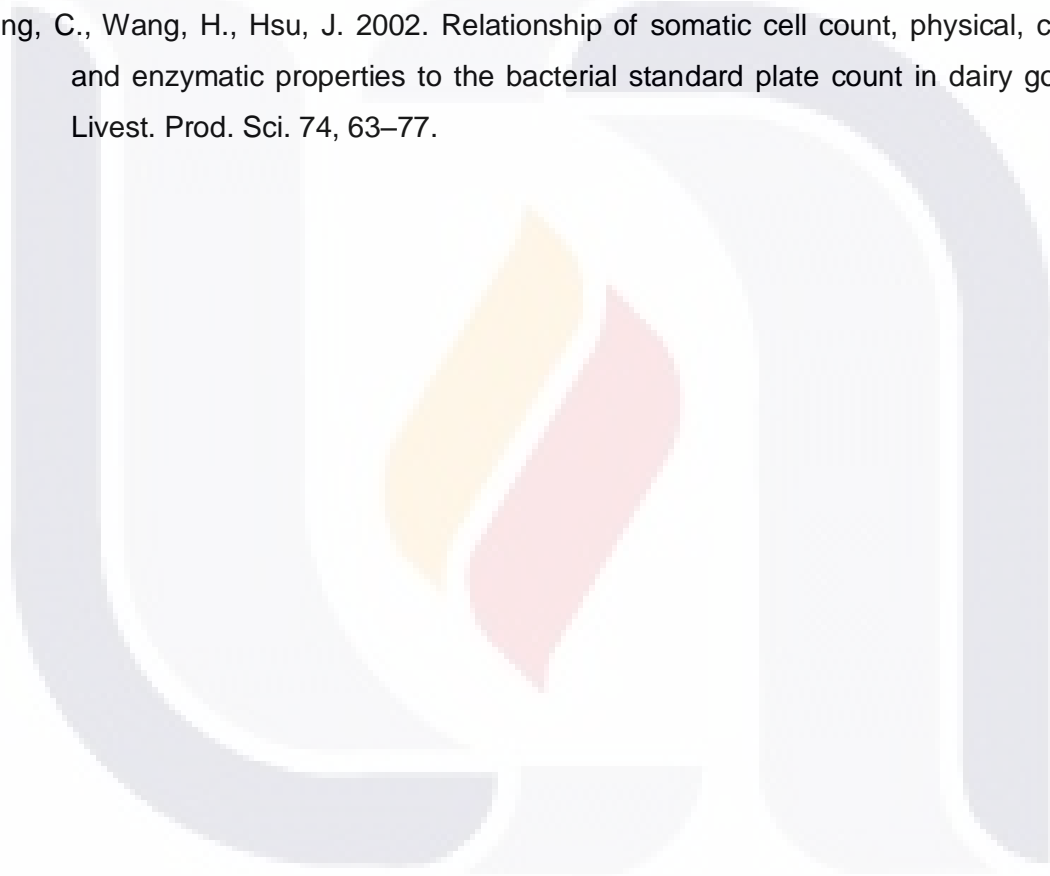
- expression profiling in milk somatic and white blood cells. *BMC Genomics*, 13: 1471-2164.
- Davis, S., Farr, V., Copeman, P., Carruthers, V., Knight, C., Stelwagen, K., 1998. Partitioning of milk accumulation between cisternal and alveolar compartments of the bovine udder: Relationship to production loss on once-daily milking. *J. Dairy Res.* 65:1–8.
- Davis, S., Farr, V., Stelwagen, K., 1999. Regulation of yield loss and milk composition during once-daily milking: A review. *Livest. Prod. Sci.* 59:77–94.
- Delgado-Pertinez, M., Alcade, M., Guzman-Guerrero, J., Castel, J., Mena, Y., Caravaca, F., 2003. Effect of hygiene-sanitary management on goat milk quality in semi-extensive system in Spain. *Small Rumin. Res.* 47, 51–61.
- Dominique, B., Renée, D., Rachel, R., Gilles, L., Xavier, B., 2003. Mastitis of dairy small Rumin. Review article. *NRA, EDP Sciences*, 689–716.
- Eman, N. y Esmat, I. 2014. Bacterial Pathogens and somatic cell count in sheep and goat milk. *J. Global Bioscie.* 3: 1034-1045.
- FAO. 2014. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Producción y productos lácteos. Pequeños rumiantes. Disponible en: <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera>
- FAOSTAT, 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Dirección de estadística. Producción. Ganadería primaria. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/569>.
- Fedaku, B., Soryal, K., Zeng, S., Van Hekken, D., Bah, B., Villaquiran, M., 2005. Changes in goat milk composition during lactation and their effects on yield and quality of hard and semi-hard cheeses. *Small Rumin. Res.* 59, 55–63.
- García-Peniche, T., Montaldo, H., Valencia-Posadas, M., Wiggans, G., Hubbard, S., Torres-Vásquez, J., Shepard, L. 2012. Breed differences over time and heritability estimates for production and reproduction traits of dairy goats in the United States. *J. Dairy Sci.* 95: 2707–2717.
- Haenlein, G., 1996. Nutritional value of dairy products of ewe and goat milk. In *Proc. IDF Seminar Production and Utilization of Ewe and Goat Milk*, Crete, Greece. *Int. Dairy Fed. Publ.*, Brussels, Belgium. Pages 159–178.
- Haenlein, G., 2001. Past, Present, and Future Perspectives of Small Rumin. *Dairy Research. J. Dairy Sci.* 84:2097–2115

- Haenlein, G., 2002. Relationship of somatic cell counts in goat milk to mastitis and productivity. *Small Rumin. Res.* 45: 163-178.
- Haenlein, G., 2014. Status and Prospects of the Dairy Goat Industry in the United States. *J. Animal Sci.* 74:1173-1181.
- Jaeggi, J., Govindasamy-Lucey, S., Berger, Y., Johnson, M., McKusick, B., Thomas, D., Wendorff, W., 2003. Hard ewe's milk cheese manufactured from milk of three different groups of somatic cell counts. *J. Dairy Sci.* 86, 3082–3089.
- Komprej, A., Gorjanc, G., Kompan, D., Kovač, M. 2012. Lactation curves for milk yield, fat, and protein content in Slovenian dairy sheep. *Czech J. Anim. Sci.* 57, 2012 (5): 231–239
- Leitner, G., Merin, U., Silanikove, N., 2011. Effects of glandular bacterial infection and stage of lactation on milk clotting parameters: comparison among cows, goats and sheep. *Int. Dairy J.* 21, 279–285.
- Leitner G., Merin U., Lavi Y., Egber A. y Silanikove N., 2007. An etiology of intramammary infection and its effect on milk composition in goat flocks. *J. Dairy Res.*, 74: 1- 8.
- Leitner, G., Silanikove, N., Merin, U., 2007. Estimate of milk and curd yield loss of sheep and goats with intramammary infection and its relation to somatic cell count. *Small Rumin Res.* 74: 221–225.
- Leitner, G., Chaffer, M., Carasso, Y., Ezra, E., Kababea, D., Winkler, M., Saran, A. 2003. Udder infection and milk somatic cell count, *NAGase* activity and milk composition—fat, protein and lactose— in Israeli Assaf and Awassi sheep. *Small Rumin. Res.* 49:157–164.
- Leitner, G., Merin, U., Silanikove, N., 2004. Changes in Milk Composition as Affected by Subclinical Mastitis in Goats. *J. Dairy Sci.*, 87:1719–1726.
- Li, N., Richoux, R., Boutinaud, M., Martin, P., Gagnaire, V., 2014. Role of somatic cells on dairy processes and products: a review. *Dairy Sci. & Technol.* Review paper, 94: 517-538.
- Marín, M.P., Fuenzalida, M, I., Burrows, J., Gecele, B., 2010. Recuento de células somática y composición de leche de cabra, según el nivel de producción y etapa de lactancia en un plantel intensivo en la zona central de Chile. *Arch Med Vet* 42, 79-85.
- Marnet, P.G., McKusick, B.C., 2001. Regulation of milk ejection and milkability in small ruminants Elsevier. *Livest. Prod. Sci.* 70 (2001) 125–133.

- Martin, P., Szymanowska, M., Zwierzchowski, L., Leroux C., 2002. The impact of genetic polymorphisms on the protein composition of ruminant milks. *Reprod. Nutr. Dev.* 42, 433–459.
- McKusick, B., Thomas, D., Berger, Y., Marnet, P., 2002. Effect of milking interval on alveolar versus cisternal milk accumulation and milk production and composition in dairy ewes. *J. Dairy Sci.* 85, 2197–2206.
- McManaman, J., Neville, M., 2003. Mammary physiology and milk secretion. *Science direct. Advanced Drug Delivery Reviews* 55 (2003) 629–64.
- Menzies, I. P., Ramanoon, Z. S., 2001. Mastitis of sheep and goats. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 17:333–358.
- Ming R., Peter H., Young W., James A., Paul S., 2001. Seasonal Changes in the Chemical Composition of Commingled Goat Milk. The American Dairy Science Association. *J. Dairy Sci.* 84(E. Suppl.):E79-E83.
- ONN, 2012. Organismo Nacional de Normalización del COFOCALEC. Proyecto de norma mexicana. PROY-NMX-F-700-COFOCALEC-2012. Disponible en: <http://www.canilec.org.mx/>
- Oravcova. M., Margetín, M. 2015. First estimates of lactation curves in white shorthaired goats in Slovakia. *Slovak J. Anim. Sci.*, 48, 2015 (1): 1–7.
- Orman, A., Günay, A., Balci, F., Koyuncu, M. 2011. Monitoring of somatic cell count variations during lactation in primiparous and multiparous Turkish Saanen goats (*Capra hircus*). *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 2011; 35(3): 169-175.
- Ortega, J., Hernández, J., Gallegos, V., 2008. Niveles de células somáticas y prevalencia de mastitis en hatos caprinos del municipio de Mapimi, Durango, Mexico. *Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo. Reunión Nacional de Investigación en Recursos Bióticos de Zonas Áridas*, 235-238.
- Paape, M., Capuco, V., 2014. Cellular Defense Mechanisms in the Udder and Lactation of Goats. *J. Animal Sci.* 75:556-565.
- Paape, M., Wiggans, G., Bannerman, D., Thomas, D., Sanders, A., Contreras, A., Moroni, P., Miller, R., 2007. Monitoring goat and sheep milk somatic cell counts. *Small Rumin. Res.* 68, 114–125.

- Park, Y., Humphrey, R., 1986. Bacterial Cell Counts in Goat Milk and Their Correlations with Somatic Cell Counts, Percent Fat, and Protein. International Dairy Goat Research Center. *J. Dairy Sci.* 69:32-37
- Park, Y., Juárez, M., Ramos, M., Haenlein, G. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 68, 88–113.
- Persson Y. y Olofsson I., 2011. Direct and indirect measurement of somatic cell count as indicator of intramammary infection in dairy goats. Persson and Olofsson *Acta Veterinaria Scandinavica*, 53:15.
- PMO. 2007. Grade “A” Pasteurized Milk Ordinance. Public Health Service, FDA, U. S. Department of Health and Human. Services, somatic cell count on yield and quality of goat cheese. *J. Dairy Sci.*, 93: 1353.
- Raynal-Ljutovac, K., Pirisi, A., De Cremoux, R., Gonzalo, C., 2007. Somatic cells of goat and sheep milk: analytical, sanitary, productive and technological aspects. *Small Rumin. Res.* 68, 126–144.
- Sánchez, A., Sierra, D., Luengo, C., 2005. Influence of Storage and Preservation on Somatic Cell Count and Composition of Goat Milk. *J. Dairy Sci.* 88:3095–3100.
- SAS, Institute Inc., 1989. SAS User’s Guide: Statistic, version 6.12, 4TH ed. SAS Institute Inc., Cary. N.C.
- Shennan D., Peaker M., 2000. Transport of Milk Constituents by the Mammary Gland. *Physiological review.* Vol. 80, No. 3.
- Silanikove N., Leitnerb G., Merinc U., Prosserd C., 2010. Recent advances in exploiting goat’s milk: Quality, safety and production aspects. *Small Rumin. Res.* 89: 110–124.
- Souza, F, Blagitz, M., Pennaa, C., Della Liberad, A., Heinemannb, M., Cerqueiraa, M. 2012. Somatic cell count in small ruminants: Friend or foe?. *Small Rumin. Res.* 107. 65– 75.
- Steel R., Torrie J., 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. McGraw-Hill Book. New York. USA. 324p.
- Steel, R. G. D., y Torrie J. 1997. Principles and Procedures of Statistics. Biol. Scie. McGraw-Hill, New York, 666 p.
- Stelwagen, K. 2001. Effect of milking frequency on mammary functioning and shape of the lactation curve. *J. Dairy Sci.* 84:204–211.

- Stelwagen, K., Phyn, C., Davis, S., Guinard-Flament, j., Pomiès, D., Roche J., Kay, J.,2013. Invited review: Reduced milking frequency: Milk production and management implications. *A. Dairy Sci A.* 96:3401–3413.
- Wiggans, G., Hubbard, M., Wright J. 1999. Genetic evaluation of yield and type traits of dairy goats. *A. Res. Service, USDA, Beltsville, MD 20705-2350.*
- Wilson, D., Stewart, K., Sears., P. 1995. Effects of stage of lactation, production, parity and season on somatic cell counts in infected and uninfected dairy goats. *Small Rumin. Res.* 16:165.
- Ying, C., Wang, H., Hsu, J. 2002. Relationship of somatic cell count, physical, chemical and enzymatic properties to the bacterial standard plate count in dairy goat milk. *Livest. Prod. Sci.* 74, 63–77.



ANEXOS

Anexo A. Técnica para obtener predicciones sobre la producción de leche.

Anexo B. Presentación en eventos científicos



Anexo A. Técnica para obtener predicciones sobre la producción de leche

Para obtener los valores de predicción de leche se utilizó el modelo:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1(DL) + \beta_2(CSS) + e_i$$

En donde:

y_i = producción de leche.

β_0 = ordenada de origen (constante);

β_1 = constante

β_2 = constante

e_i = residual



Anexo B. Presentación en eventos científicos



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS