



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Identificación e impacto de factores no genéticos y genéticos sobre características de la leche y peso al nacimiento en ganado multirracial de seis municipios del departamento de Norte de Santander

Luisa Fernanda Naranjo Guerrero

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de producción animal
Medellín, Colombia

2022

Identificación e impacto de factores no genéticos y genéticos sobre características de la leche y peso al nacimiento en ganado multirracial de seis municipios del departamento de Norte de Santander

Luisa Fernanda Naranjo Guerrero

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias

Director (a):

MVZ, M.Sc., Ph.D. Luis Gabriel González Herrera

Codirector (a):

Zoot, Msc PhD Nancy Rodríguez Colorado

Línea de Investigación:

Genética Animal

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación en Producción Animal Sostenible, Biodiversidad y Biotecnología –

GIPAB

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Producción Animal

Medellín, Colombia

2022

Tus pensamientos son los ladrillos con los que construyes tu futuro. Asegúrate de que cada uno de ellos sea de la mejor calidad posible.

ViDa

Declaración de obra original

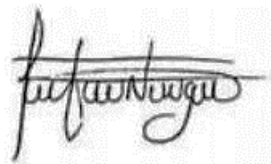
Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Luisa Fernanda Naranjo Guerrero. Zoot

11/07/2022

Fecha

Agradecimientos

A mi familia especialmente a mi madre Bertha Naranjo Guerrero por ser el soporte necesario para lograr el cumplimiento de este proceso de formación en mi vida.

A los profesores Luis Gabriel González Herrera y Nancy Rodríguez Colorado por su dirección, acompañamiento y enseñanzas durante este proceso de formación.

A los profesores Freddy Hernández Barajas y Andrés Rogberg por su colaboración en la explicación de temas base para mi formación y por la asesoría en el análisis de información.

A todo el equipo técnico y científico del proyecto gestar, que hicieron posible en muchos aspectos la realización de este trabajo.

A la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por la financiación ofrecida para llevar a cabo mi proyecto de maestría.

A la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín por ser parte de mi formación académica y profesional y a todos aquellos que de una u otra manera hicieron parte de este proceso.

Resumen

Identificación e impacto de factores no genéticos y genéticos sobre características de la leche y peso al nacimiento en ganado multirracial de seis municipios del departamento de Norte de Santander

El departamento de Norte de Santander se caracteriza por la presencia de la ganadería en gran parte de su territorio; destacando el uso de animales cruzados entre las razas cebuínas con razas especializadas de leche, como un recurso para mejorar la producción, reducir los costos y hacer uso eficiente de la heterosis. Sin embargo, no todos los cruzamientos que se llevan a cabo permiten expresar las ventajas que se esperan y la incorrecta implementación de lineamientos zootécnicos pueden acelerar la presencia de problemas de adaptación y producción. Por tal razón, estudiar las características de tipo productivo en ganado multirracial y los factores genéticos y no genéticos que son responsables de su variación es de suma importancia para estimular el correcto uso de estos animales. El objetivo de este trabajo fue identificar y reconocer el impacto de factores no genéticos y genéticos sobre características de la leche y peso al nacimiento en ganado multirracial de seis municipios del departamento de Norte de Santander. Para tal propósito se trabajó con una población de hembras multirraciales provenientes de diferentes zonas del país utilizadas como receptoras y con crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr. Para dar respuesta al objetivo uno se realizó una caracterización fenotípica relacionando las características de la leche y peso al nacimiento con los factores de región, sistema productivo, pasturas, época de control, días en leche, edad al primer parto y condición corporal para las características de la leche en las hembras receptoras; y los factores región, sistema productivo, pasturas, edad de la madre al parto, época de nacimiento y componente racial para el peso al nacimiento de las crías. Se tuvo un total de 584, 644, 197, 517 y 167 datos para producción de leche (PL), porcentaje de proteína (PP), porcentaje de grasa (PG), recuento de células somáticas (RCS) y peso al nacimiento (PN), respectivamente. Posteriormente, para dar respuesta al objetivo dos, se realizó una

caracterización genómica y fueron incluidos en los análisis 86.499 SNPs de 855 hembras receptoras multirraciales y 87.866 SNPs de 259 crías. Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para validar la dispersión de las poblaciones cruzadas con relación a las poblaciones puras, se estimó la pureza racial del modelo de población basado en un método de agrupación y se estimaron los valores de desequilibrio de ligamiento (LD) por medio del estadístico r^2 . Finalmente, para dar respuesta al objetivo tres, la información fenotípica y genómica fue unificada obteniendo información para 186 hembras y 141 crías. Los datos relacionados con la leche fueron sometidos a diferentes modelos y distribuciones bajo una estrategia incremental con el fin de determinar a qué modelo se ajustaban mejor los datos. En el peso al nacimiento se evaluó un modelo lineal clásico con distribución normal. Luego de la obtención de los mejores modelos para cada característica se realizaron las predicciones de los valores esperados de algunos animales con ayuda de la función *predict*. Se encontraron valores de media de $3,06 \pm 1,40$ kg para PL, de $3,21 \pm 0,40$ % para PP, de $3,32 \pm 0,77$ % para PG, de $356,67 \pm 255,73 \times 10^3$ cel/ml para RCS y de $30,92 \pm 4,69$ kg para PN. Se encontró asociación de efectos no genéticos con variables categorizadas de las características de la leche y PN. Para el análisis de componentes principales en las hembras se encontró que el componente principal 1 explicó el 44,39 % de la variación relacionada con la diferenciación genómica presente entre animales del grupo *Bos primigenius indicus* y *Bos primigenius taurus*. En el segundo componente principal se logró explicar el 14,6 % de la variación relacionada con la diferenciación entre animales del grupo *Bos primigenius taurus*. Para el caso de las crías el componente principal 1 explicó el 30,22 % de la variación relacionada con la diferenciación presente entre animales del grupo *Bos primigenius indicus* y *Bos primigenius taurus*, mientras que el segundo componente principal explicó el 9,28 % de la variación observándose una diferenciación con relación al toro utilizado como padre. Se determinó que el menor error en la validación para hembras receptoras se correspondió con 7 ($k = 7$) grupos genéticos, utilizando como referencia las razas Pardo Suizo, Gyr, Brahman, Criollo Guadalupe, Holstein, Jersey, Romosinuano y Senepol. Por otro lado, el menor error para la validación en crías fue evidenciado con 2 ($k = 2$) grupos genéticos, asociados a las razas Gyr y Holstein. De igual manera, se obtuvo una media de r^2 de 0,096, 0,146 y 0,175 para una distancia máxima de 400 kb en hembras receptoras, crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, respectivamente. El modelo lineal generalizado

mixto con distribución gamma fue el que mejor se ajustó a los datos para PL (AIC = 1687,30 y BIC = 1748,40), PP (AIC = 600,9 y BIC = 632,2) y RCS (AIC = 7051,77 y BIC = 7090,00). Para PG el mejor modelo fue el modelo lineal generalizado mixto con distribución inversa Gaussiana con un AIC de 394,30 y un BIC de 423,80. Finalmente para PN el modelo lineal clásico fue el seleccionado con un AIC de 983,10 y un BIC de 1001,86. Existe una variación de magnitud media a alta de las características incluidas en el estudio dentro de la población multirracial evaluada, lo que hace, en parte, que los sistemas doble propósito sean poco eficientes ya que no hay estándares que permitan unificar el manejo de los animales dentro de los hatos. Se evidenció que existen factores no genéticos que pueden incidir sobre la variación de características de la leche y de peso al nacimiento. El análisis de componentes principales realizado sobre las hembras receptoras permitió evidenciar una relativa baja definición de la estructura poblacional, corroborando la presencia de eventos de mestizaje en esta población, como consecuencia de la falta de seguimiento genealógico y la realización de cruzamientos no dirigidos. Por su parte, el análisis de componentes principales realizado en las crías permitió diferenciar la población de crías con relación a los toros utilizados, evidenciando la existencia de posibles procesos de selección diferentes sobre estos lo que a su vez podría implicar variabilidad en los parámetros productivos de las crías de esta población. La aproximación obtenida por medio del análisis de estructura poblacional permitió identificar de forma efectiva 7 grupos genéticos que posteriormente fueron agrupados en 3 componentes genéticos para la conformación de las hembras receptoras estudiadas, ayudando a robustecer las apreciaciones fenotípicas realizadas en campo. De igual manera, permitió corroborar la composición racial de las crías obtenidas, lográndose identificar de forma efectiva los 2 grupos genéticos presentes en la conformación de esta población. El valor del estimativo de r^2 observado para las crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y crías 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, deja ver que la raza Holstein ha sido sometida por mucho más tiempo a procesos de selección intensivos en comparación con la raza Gyr y que los reproductores utilizados han sido fuertemente seleccionados para diversas características productivas. Por otro lado, los menores valores observados para la población de hembras receptoras pueden deberse a la poca o nula selección que se ha realizado sobre estas y a posibles eventos de recombinación ocurridos durante su desarrollo.

Palabras clave: desequilibrio de ligamiento, doble propósito, estructura poblacional, heterosis, modelos lineales generalizados mixtos.

Abstract

Identification and impact of non-genetic and genetic factors on milk traits and birth weight in multiracial cattle from six municipalities in the department of Norte de Santander

The department of Norte de Santander is characterized by the presence of livestock in a large part of its territory; highlighting the use of crossbred animals between the zebu breeds with specialized dairy breeds, as a resource to improve production, reduce costs and make efficient use of heterosis. However, not all the crosses that are carried out allow expressing the expected advantages and the incorrect implementation of zootechnical guidelines can accelerate the presence of adaptation and production problems. For this reason, studying the characteristics of the productive type in multiracial cattle and the genetic and non-genetic factors that are responsible for their variation is of the utmost importance to stimulate the correct use of these animals. The objective of this work was to identify and recognize the impact of non-genetic and genetic factors on milk traits and birth weight in multiracial cattle from six municipalities in the department of Norte de Santander. For this purpose, we worked with a population of multiracial females from different areas of the country used as recipients and with offspring 1/2 Holstein x 1/2 Gyr and 5/8 Holstein x 3/8 Gyr. To respond to objective one, a phenotypic characterization was carried out relating the traits of milk and birth weight with the factors of region, production system, pastures, control season, days in milk, age at first calving and body condition for the traits of milk in recipient females; and the factors region, productive system, pastures, age of the mother at delivery, birth season and racial component for the birth weight of the calves. There was a total of 584, 644, 197, 517 and 167 data for milk production (PL), protein percentage (PP), fat percentage (PG), somatic cell count (RCS) and birth weight (PN), respectively.

Subsequently, to respond to objective two, a genomic characterization was carried out and 86,499 SNPs from 855 multiracial recipient females and 87,866 SNPs from 259 offspring were included in the analyses. Principal component analysis (PCA) was performed to validate the dispersion of the crossbred populations relative to the pure populations, the racial purity of the population model based on a clustering method was estimated, and linkage disequilibrium values (LD) by means of the r^2 statistic. Finally, to respond to objective three, the phenotypic and genomic information was unified, obtaining information for 186 females and 141 offspring. Milk-related data were subjected to different models and distributions under an incremental strategy to determine which model the data best fit. For birth weight, a classical linear model with normal distribution was evaluated. After obtaining the best models for each trait, the predictions of the expected values of some animals were made with the help of the predict function. Average values of 3.06 ± 1.40 kg were found for PL, $3.21 \pm 0.40\%$ for PP, $3.32 \pm 0.77\%$ for PG, $356.67 \pm 255.73 \times 10^3$ cells/mL for RCS and 30.92 ± 4.69 kg for PN. Association of non-genetic effects with categorized variables of milk traits and PN was found. For the principal component analysis in females, it was found that the principal component 1 explained 44.39 % of the variation related to the genomic differentiation present between animals of the *Bos primigenius indicus* and *Bos primigenius taurus* groups. In the second principal component, it was possible to explain 14.6 % of the variation related to the differentiation between animals of the *Bos primigenius taurus* group. In the case of the offspring, the principal component 1 explained 30.22 % of the variation related to the differentiation present between animals of the *Bos primigenius indicus* and *Bos primigenius taurus* groups, while the second principal component explained 9.28 % of the variation, observing a differentiation in relation to the bull used as father. It was determined that the lowest validation error for recipient females corresponded to 7 ($k = 7$) genetic groups, using the Brown Swiss, Gyr, Brahman, Criollo Guadalupe, Holstein, Jersey, Romosinuano and Senepol breeds as reference. On the other hand, the lowest error for validation in offspring was evidenced with 2 ($k = 2$) genetic groups, associated with the Gyr and Holstein breeds. Similarly, a mean r^2 of 0.096, 0.146 and 0.175 was obtained for a maximum distance of 400 kb in recipient females, 1/2 Holstein x 1/2 Gyr and 5/8 Holstein x 3/8 Gyr offspring, respectively. The mixed generalized linear model with gamma distribution was the best fit to the data for PL (AIC = 1687.30 and BIC = 1748.40), PP (AIC = 600.9 and BIC = 632.2) and RCS (AIC = 7051.77 and BIC = 7090.00). For PG, the best model was the mixed generalized linear model with inverse Gaussian distribution with an AIC of 394.30 and a BIC of 423.80. Finally, for PN, the classical linear model was

selected with an AIC of 983.10 and a BIC of 1001.86. There is a variation of medium to high magnitude of the traits included in the study within the multiracial population evaluated, which makes, in part, that the dual-purpose systems are inefficient since there are no standards that allow unifying the management of animals within the herds. It was evidenced that there are non-genetic factors that can affect the variation of milk traits and birth weight. The principal components analysis carried out on the recipient females revealed a relatively low definition of the population structure, corroborating the presence of interbreeding events in this population, because of the lack of genealogical follow-up and the performance of non-directed crosses. For its part, the analysis of principal components carried out on the calves allowed to differentiate the population of calves in relation to the bulls used, evidencing the existence of possible different selection processes on these, which in turn could imply variability in the productive parameters of the offspring of this population. The approximation obtained through the population structure analysis made it possible to effectively identify 7 genetic groups that were later grouped into 3 genetic components for the conformation of the recipient females studied, helping to strengthen the phenotypic assessments made in the field. In the same way, it allowed to corroborate the racial composition of the offspring obtained, being able to effectively identify the 2 genetic groups present in the conformation of this population. The value of the estimate of r^2 observed for the offspring 1/2 Holstein x 1/2 Gyr and offspring 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, shows that the Holstein breed has been subjected for much longer to intensive selection processes in comparison with the Gyr breed and that the breeders used have been strongly selected for various productive traits. On the other hand, the lower values observed for the population of recipient females may be due to the little or no selection that has been made on them and to possible recombination events that occurred during their development.

Keywords: linkage disequilibrium, dual purpose, population structure, heterosis, generalized linear mixed models.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract	XII
Lista de figuras	XX
Lista de tablas	XXII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XXIV
Introducción	1
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Capítulo 1 Marco teórico	5
1.1 Situación actual de la ganadería en Colombia.....	5
1.2 Ganadería doble propósito en Colombia	7
1.3 Componente racial en la ganadería doble propósito en Colombia.....	9
1.4 Generalidades del departamento de Norte de Santander.....	11
1.5 Características de interés económico en ganadería doble propósito.....	16
1.5.1 Peso al nacimiento	16
1.5.2 Producción y calidad composicional de la leche (porcentaje de grasa y proteína).....	17
1.5.3 Calidad sanitaria de la leche (Recuento de Células Somáticas)	20
1.6 Transferencia de embriones.....	21
1.6.1 Hembras receptoras	22
1.7 Análisis multivariado y de inferencia estadística	23
1.7.1 Análisis de correspondencia	23
1.7.2 Análisis de componentes principales	23
1.7.3 Análisis por medio de modelos lineales generalizados mixtos	24
1.7 Genética y genómica	25
1.8 Estructura poblacional.....	28
1.8.1 Estructura genética.....	28
1.8.2 Desequilibrio de ligamiento (LD)	29
Bibliografía	30

Capítulo 2: Caracterización fenotípica para características de la leche y peso al nacimiento en una población de ganado multirracial del departamento de Norte de Santander	42
2.1 Resumen	42
2.2 Introducción	44
2.3 Materiales y métodos.....	47
2.3.1 Población de estudio.....	47
2.3.2 Datos.....	48
2.3.3 Análisis de datos	49
2.4 Resultados y discusión	52
2.4.1 Descripción de características de calidad de la leche y de crecimiento.	52
▪ Producción de leche.....	53
▪ Porcentaje de proteína	54
▪ Porcentaje de grasa	55
▪ Recuento de células somáticas	56
▪ Peso al nacimiento	57
2.4.2 Descripción de factores no genéticos que se espera están relacionados con la variabilidad de características de calidad de la leche y de peso al nacimiento.....	58
▪ Tipo de sistema de producción y alimentación	59
▪ Época de nacimiento y control.....	61
▪ Componente racial de la cría.....	62
▪ Días en leche, condición corporal y edad al primer parto	63
2.4.3 Análisis de asociación entre factores no genéticos y las características de la leche y el peso al nacimiento por medio de análisis de correspondencia múltiple....	69
2.5 Conclusiones	76
2.6 Bibliografía.....	77
Capítulo 3: Caracterización genómica y definición de las principales proporciones raciales existentes en una población de ganado multirracial del departamento de Norte de Santander.....	85
3.1 Resumen	85
3.2 Introducción	87
3.3 Materiales y métodos.....	89
3.3.1 Población de estudio y muestreo.....	89
3.3.2 Valoración fenotípica.....	90
3.3.3 Genotipado.....	90
3.3.4 Control de calidad	91
3.3.5 Población referencia.....	91
3.3.6 Estructura genética de la población mediante análisis de componentes principales.....	92
3.3.7 Estructura genética de la población mediante análisis Structure	92
3.3.8 Desequilibrio de ligamiento (LD).....	93
3.4 Resultados y discusión	94
3.4.1 Estructura poblacional por medio de análisis de componentes principales....	94
3.4.2 Análisis de estructura genética.....	98
3.4.3 Análisis de desequilibrio de ligamiento (r^2)	103
3.5 Conclusiones	108
3.6 Bibliografía.....	109

Capítulo 4. Determinación de la influencia de factores no genéticos y genéticos sobre la variabilidad de las características de la leche y peso al nacimiento en la ganadería doble propósito de seis municipios del departamento de Norte de Santander.....		113
4.1	Resumen.....	113
4.2	Introducción.....	114
4.3	Materiales y métodos	117
4.3.1	Población de estudio	117
4.3.2	Datos	118
	▪ Datos fenotípicos	118
	▪ Datos genómicos	119
4.3.3	Análisis de los datos	119
4.4	Resultados y discusión.....	122
4.4.1	Producción de leche	122
	▪ Análisis exploratorio para los efectos significativos.....	122
	▪ Selección del modelo.....	126
	▪ Aplicación del modelo final	128
4.4.2	Porcentaje de proteína.....	131
	▪ Análisis exploratorio para los efectos significativos.....	131
	▪ Selección del modelo.....	134
	▪ Aplicación del modelo final	136
4.4.3	Porcentaje de grasa.....	138
	▪ Análisis exploratorio para los efectos significativos.....	138
	▪ Selección del modelo.....	140
	▪ Aplicación del modelo final	142
4.4.4	Recuento de células somáticas	144
	▪ Análisis exploratorio para los efectos significativos.....	144
	▪ Selección del modelo.....	147
	▪ Aplicación del modelo final	149
4.4.5	Peso al nacimiento	151
	▪ Análisis exploratorio para efectos significativos	151
	▪ Selección del modelo.....	153
	▪ Aplicación del modelo final	154
4.5	Conclusiones.....	155
4.6	Bibliografía	156
Conclusiones y recomendaciones		165
	Conclusiones	165
	Recomendaciones	168

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Inventario bovino por departamento 2021	5
Figura 1-2: Distribución de los sistemas de producción en Colombia	7
Figura 1-3: Mapa de Norte de Santander	13
Figura 2-1: Producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas de acuerdo con los días en lactancia.....	64
Figura 2-2: Producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas de acuerdo la condición corporal a lo largo de la trayectoria de la lactancia.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2-3: Producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas de acuerdo con la edad al primer parto.	68
Figura 2-4: Peso al nacimiento de acuerdo con la edad al primer parto de la madre.....	69
Figura 2-5: Análisis de correspondencia múltiple para producción de leche (A), porcentaje de proteína (B), porcentaje de grasa (C) y recuento de células somáticas (D) respecto a los efectos no genéticos.	70
Figura 2-6: Análisis de correspondencia múltiple para el peso al nacimiento respecto a los efectos no genéticos.....	72
Figura 3-1: Análisis de componentes principales de la población de hembras receptoras con la inclusión de grupos control.	94
Figura 3-2: Análisis de componentes principales para la población de crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr con la inclusión de grupos control.	96
Figura 3-3: Estructura poblacional de genotipos en la población de hembras receptoras y razas control para un $k = 3$	98
Figura 3-4: Estructura poblacional de genotipos en la población de hembras receptoras y razas control para un $k = 7$	99
Figura 4-1: Estrategia incremental utilizada para la evaluación de modelos en la descripción de la variabilidad de las características de producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas.	121
Figura 4-2: Densidad para la producción de leche general según la región, sistema productivo, pastura y época de control.....	123
Figura 4-3: producción de leche según edad al parto de la madre, condición corporal y componente genético taurino europeo.	124
Figura 4-4: Densidad para el porcentaje de proteína según la región y la pastura.	132
Figura 4-5: Relación del porcentaje de proteína con los días en leche.....	132
Figura 4-6: Densidad para el porcentaje de grasa según la región y la pastura.	139

Figura 4-7: Densidad para el recuento de células somáticas según la época de control, la región y la pastura.....	145
Figura 4-8: Relación entre el recuento de células somáticas y los días en leche.....	146
Figura 4-9: Densidad para el peso al nacimiento según la época de nacimiento y la pastura.....	152
Figura 4-10: Gráficos para evaluar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.....	154

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Normas para el registro e intervalos de muestreo de leche.	19
Tabla 1-2: Símbolos usados según el número de ordeños por día.	20
Tabla 2-1: Agrupamiento de pasturas con diversidad de especies forrajeras según disponibilidad forrajera en los potreros.	50
Tabla 2-2: Categorización de las variables cuantitativas para los gráficos de tendencia y el análisis de correspondencia múltiple.	51
Tabla 2-3: Medias y desviaciones estándar para producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa, recuento de células somáticas y peso al nacimiento de acuerdo con el municipio y la región.	52
Tabla 2-4: Medias y desviaciones estándar para producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa, recuento de células somáticas y peso al nacimiento de acuerdo con el tipo de sistema productivo y alimentación.	59
Tabla 2-5: Medias y desviaciones estándar para producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa, recuento de células somáticas y peso al nacimiento de acuerdo con época de nacimiento y de control.	62
Tabla 2-6: Inercias principales (Eigenvalores) y porcentajes de explicación para las dimensiones 1 y 2 en el análisis relacionado con las características de cantidad y calidad de la leche y peso al nacimiento.	70
Tabla 2-7: Asociación entre los niveles de PL, PP, PG, RCS y niveles de efectos no genéticos (residuos estandarizados).	73
Tabla 3-1: Contribución racial promedio en porcentaje en hembras receptoras respecto al grupo genético de las razas control.	100
Tabla 3-2: valores estimados de r^2 para cada autosoma (BTA) en la población de hembras receptoras y crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr.	104
Tabla 4-1: Parámetros y valores de AIC y BIC para los modelos evaluados en la descripción de la variabilidad de la producción de leche.	127
Tabla 4-2: Producción de leche estimada para las vacas 019 y 437 que experimentarían diferentes condiciones genéticas y no genéticas.	129
Tabla 4-3: Parámetros y valores de AIC y BIC para los modelos evaluados en la descripción de la variabilidad del porcentaje de proteína.	135
Tabla 4-4: Porcentaje de proteína estimado para un animal que experimentaría diferentes condiciones genéticas y no genéticas.	137

Tabla 4-5: Parámetros y valores de AIC y BIC para los modelos evaluados en la descripción de la variabilidad del porcentaje de grasa.....	141
Tabla 4-6: Porcentaje de grasa estimado para un animal que experimentaría diferentes condiciones genéticas y no genéticas.	143
Tabla 4-7: Parámetros y valores de AIC y BIC para los modelos evaluados en la descripción de la variabilidad del recuento de células somáticas.	148
Tabla 4-8: Recuento de células somáticas bajo diferentes factores no genéticos.	149
Tabla 4-9: Peso al nacimiento bajo diferentes condiciones ambientales.....	155

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
ACM	Análisis de correspondencia múltiple
ACS	Análisis de correspondencia simple
ADN	Ácido desoxirribonucleico
ANOVA	Análisis de varianza
ASOCEBU	Asociación colombiana de criaderos de ganado cebú
BI	<i>Bos primigenius indicus</i>
BON	Blanco Orejinegro
BRM	Brahman
BSW	Pardo Suizo
BT	<i>Bos primigenius taurus</i>
CC	Condición corporal
CC1	Condición corporal 1
CC2	Condición corporal 2
CC3	Condición corporal 3
CGU	Criollo Guadalupe
DANE	Departamento administrativo nacional de estadísticas
DEL	Días en leche
EC	Época de control

EN	Época de nacimiento
EPP	Edad al primer parto
EP1	Edad al primer parto 1
EP2	Edad al primer parto 2
EP3	Edad al primer parto 3
FEDEGAN	Federación colombiana de ganaderos
GLMM	Modelos lineales mixtos generalizados
GWAS	Estudio de asociación del genoma completo
G1	Grupo 1
G2	Grupo 2
G3	Grupo 3
HOL	Holstein
HWE	Equilibrio de Hardy Weinberg
ICA	Instituto colombiano agropecuario
ICAR	International committee for animal recording
IEP	Intervalo entre partos
INDELS	Inserción o delección
I1	Invierno 1
JER	Jersey
kg	Kilogramo
LD	Desequilibrio de ligamiento
MAF	Frecuencia del alelo menos común
MANOVA	Análisis multivariante de varianza
MCMC	Markov chain Monte Carlo
PC	Pastoreo continuo
PCA	Análisis de componentes principales

PIB	Producto interno bruto
PG	Porcentaje de grasa
PG1	Porcentaje de grasa 1
PG2	Porcentaje de grasa 2
PG3	Porcentaje de grasa 3
PL	Producción de leche
PL1	Producción de leche 1
PL2	Producción de leche 2
PL3	Producción de leche 3
PN	Peso al nacimiento
PN1	Peso al nacimiento 1
PN2	Peso al nacimiento 2
PN3	Peso al nacimiento 3
PP	Porcentaje de proteína
PP1	Porcentaje de proteína 1
PP2	Porcentaje de proteína 2
PP3	Porcentaje de proteína 3
PR	Pastoreo rotacional
Pst	Pasturas
QTLs	Quantitative trait loci
RCS	Recuento de células somáticas
RCS1	Recuento de células somáticas 1
RCS2	Recuento de células somáticas 2
RCS3	Recuento de células somáticas 3
ROM	Romosinuano

SD	Desviación estándar
SE	Semiestabulado
SEN	Senepol
SNPs	Polimorfismo de nucleótido único
SP	Sistema productivo
UFPSO	Universidad Francisco de Paula Santander
V1	Verano 1
V2	Verano 2

Introducción

La ganadería colombiana es la actividad económica con más presencia en el país, se puede encontrar en todos los pisos térmicos, en todas las escalas de producción y en diversas especialidades: cría, levante, ceba, lechería especializada y doble propósito (FEDEGAN, 2018). El sector ganadero colombiano finalizó el año 2020 con un aumento del 2,9 % en la producción de leche frente al año anterior, cerrando con un total de 7.393 millones de litros (FEDEGAN, 2021a). Para el año 2021 el sector agropecuario reportó un crecimiento del 3,8 % en el segundo trimestre del año, encontrando que el sector lechero aumentó la producción de leche en un 12 % y el sacrificio de animales incrementó en 6,9 % (FEDEGAN, 2021). Para el año 2019 se reportaron un total de 474.490 bovinos en el departamento de Norte de Santander, de los cuales 68.050 se encuentran en los 6 municipios de interés de este estudio repartidos de la siguiente manera: Arboledas (6.392), Chinácota (9.500), El Tarra (14.348), El Zulia (18.897), Ocaña (11.593) y Pamplona (7.320) (ICA, 2021).

En Colombia se ha venido trabajando con sistemas doble propósito como una opción para reducir costos e intentar ampliar el margen de rentabilidad, ya que estos sistemas de producción se caracterizan por su sencillez, estabilidad, flexibilidad y liquidez diaria, permitiendo a los productores sobrevivir en un medio cambiante (Urdaneta et al., 2008) (Bulla & Julián, 2020). Estos sistemas de producción son atractivos para los productores debido a que les permiten tener retorno económico desde dos aspectos; con la producción de leche pueden obtener una mayor liquidez o flujo de caja, mientras que con la ceba el retorno económico se obtiene cuando el novillo gana el peso esperado, lo que puede tardar entre 2 y 4 años (Restrepo, 2014).

El departamento de Norte de Santander se caracteriza por la presencia de la ganadería en gran parte de su territorio; destacando el uso de animales cruzados entre razas cebuínas (*Bos primigenius indicus*) con razas especializadas de leche como Holstein, Normando y Pardo Suizo (*Bos primigenius taurus*) como un recurso para mejorar la producción, reducir

los costos y hacer uso eficiente de la heterosis. Sin embargo, no todos los cruzamientos que se realizan conllevan a las ventajas que se esperan y la incorrecta implementación de lineamientos zootécnicos, pueden acelerar la presencia de problemas de adaptación y producción (Rosero Alpala et al., 2021).

Aunque algunos autores han reconocido el potencial que poseen los sistemas doble propósito, también coinciden en que la falta de conocimiento acerca de sus recursos, así como la escasa implementación de toma de registros fenotípicos y baja tecnología, no han permitido generar planes de mejoramiento que lleven a una mayor productividad en estos sistemas (Magaña et al., 2006; Maicelo, 2017). A lo anterior se suma, que el desarrollo de tecnologías y de investigación alrededor de este tipo de sistema productivo en el departamento de Norte Santander es muy escaso, debido en gran parte a problemas sociales que se viven en estas poblaciones encontrando además, poco o nada de información referente a los factores no genéticos y genéticos que pueden tener impacto sobre variables productivas y sanitarias como peso al nacimiento, producción de leche, porcentaje de grasa, porcentaje de proteína y recuento de células somáticas.

El conocimiento del recurso animal y la aplicación de tecnologías de tipo reproductivo, productivo y sanitario se hace con base en resultados previos de estudios de caracterización ambiental y genómicos que permiten reconocer los factores no genéticos y genéticos que pueden ser causantes de la variabilidad en diferentes características de importancia económica. Reconocer los factores que son responsables de la variación, permite generar información importante para el manejo zootécnico de los hatos ganaderos, que a futuro puede ser utilizada como base para la realización de evaluaciones genéticas.

Desde hace un tiempo se ha planteado el uso de marcadores moleculares como una herramienta para la selección de animales genéticamente superiores, ya que permite obtener información suficiente para determinar estructura poblacional, nivel de consanguinidad, filiación genética y parental entre individuos en un hato, regiones de homocigosidad, y hacer selección genómica. Con lo cual es posible ser más acertados en la selección que se realice en un hato direccionado al mejoramiento genético (Heaton et al., 2002; Scienski et al., 2019). En poblaciones multirraciales en las que el componente racial se desconoce parcial o completamente, se puede hacer uso de herramientas moleculares, especialmente de SNPs (del inglés Single Nucleotide Polymorphism) como

estrategia para determinar la composición racial de dichas poblaciones y lograr encaminar de manera adecuada programas de selección y de mejoramiento genético. Incluso, la contribución de los estudios moleculares ha ayudado a identificar si el origen *Bos primigenius taurus* o *Bos primigenius indicus* de un determinado segmento cromosómico de bovinos puede tener efectos sobre características de interés económico (Bolormaa et al., 2011).

Objetivo general

Identificar el impacto de factores no genéticos y genéticos sobre características de la leche y peso al nacimiento en ganado bovino multirracial de seis municipios del departamento de Norte de Santander.

Objetivos específicos

1. Caracterizar fenotípicamente una población de ganado multirracial del departamento de Norte de Santander, para características de la leche (producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas) y de crecimiento (peso al nacimiento).
2. Caracterizar genómicamente y definir las principales proporciones raciales existentes en una población de ganado multirracial del departamento de Norte de Santander.
3. Determinar la influencia de factores no genéticos y genéticos sobre la variabilidad de las características de la leche y peso al nacimiento en la ganadería doble propósito de seis municipios del departamento de Norte de Santander.

Capítulo 1 Marco teórico.

1.1 Situación actual de la ganadería en Colombia

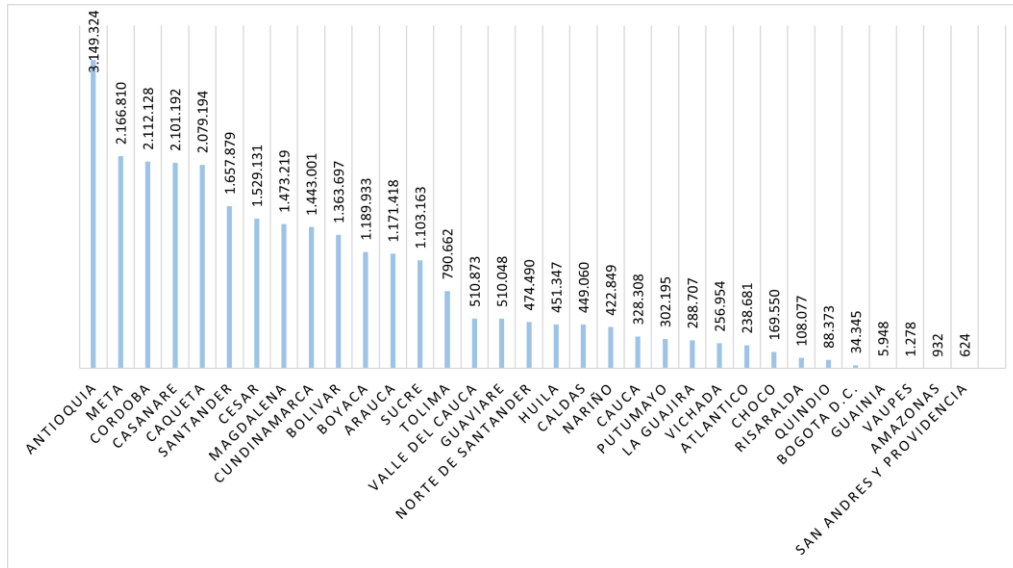
La ganadería colombiana es la actividad económica con más presencia en el país, se puede encontrar en todos los pisos térmicos, en todas las escalas de producción y en diversas especialidades: cría, levante, ceba, lechería especializada y doble propósito. (FEDEGAN, 2018).

El sector ganadero contribuye con el 1,4 % del producto interno bruto nacional (PIB) y se estima que genera alrededor de 1,1 millones de empleos directos que representan el 6 % del empleo nacional y el 19 % del empleo agropecuario (FEDEGAN, 2021a). Para el año 2020, el sector agropecuario reportó un incremento del 2,8 %, la ganadería bovina aumentó su PIB en un 3 % y la producción de leche lo hizo en un 2,9 % durante todo el año. El censo agropecuario del año 2021 estimó que la población bovina de Colombia se distribuye en 633.408 predios con un total de 27.973.390 animales, mostrando una reducción en el 3,4 %, respecto al año 2020; cerca del 68,2 % del total de ganado se concentraba en 10 departamentos del país, Antioquia (11,3 %), Meta (7,7 %), Córdoba (7,6 %), Casanare (7,5 %), Caquetá (7,4 %), Santander (5,9 %), Cesar (5,5 %), Magdalena (5,3 %), Cundinamarca (5,2 %) y Bolívar (4,9 %) (ICA, 2021). En la Figura 1-1 se puede visualizar el inventario bovino por departamento para el año 2021.

La población bovina se clasifica según su orientación productiva (Figura 1-2), de la siguiente manera: 35 % en doble propósito (producción de carne y leche), 39 % en cría, 20 % en ceba y 6 % en lechería especializada (FEDEGAN, 2021a). Para el año 2020 se tuvo un crecimiento moderado en la producción de leche cerrando con un total de 7.393 millones de litros de leche producidos, representando un incremento del 2,9 % en la producción de leche frente al año 2019 (FEDEGAN, 2021a). Por su parte, para el año 2021

se presentó un aumento del 12 % en la producción de leche respecto al año anterior (FEDEGAN, 2021b).

Figura 1-1: Inventario bovino por departamento 2021

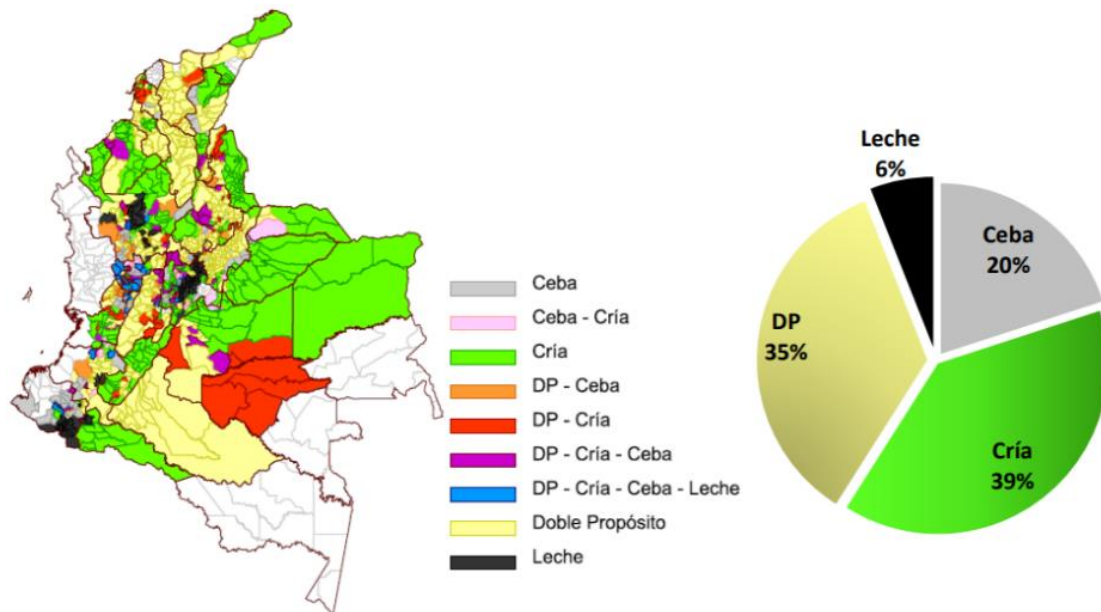


Fuente: ICA, 2021. Elaboración propia

El consumo per cápita de leche ha aumentado significativamente en los últimos años al estar entre 140 y 148 litros (FEDEGAN & FNG, 2020). A pesar de la escasez de leche para el año 2019, se registró una de las tendencias más altas en cuanto a consumo aparente llegando a los 158 litros por persona/año (FEDEGAN & FNG, 2020). Para el año 2020 se evidenció una baja del 1,3 % respecto al año 2019 mostrando un consumo persona/año de 156 litros; esto se debió a que parte de los hogares redujeron los niveles de ingreso, como consecuencia de la crisis ocasionada por la Covid-19 (FEDEGAN & FNG, 2020). Por su parte, el consumo de leche en el año 2021 fue de 141 litros persona/año (Daza, 2022). Sin embargo, para el año 2022 a corte de abril se ha presentado un incremento del 40% en el precio de la leche, lo que ha afectado de manera directa al consumidor final. Dichas situaciones han dificultado aún más que Colombia llegue a cumplir la sugerencia de la FAO y la OMS, de consumir 180 litros de leche por persona/año. Lo anteriormente mencionado, muestra la importancia que tiene el sector lechero frente a la seguridad alimentaria del país (FEDEGAN & FNG, 2020) y la relevancia de implementar tecnologías

que permitan generar producciones más sostenibles, rentables y con mejor oferta para el consumidor (FEDEGAN, 2021b).

Figura 1-2: Distribución de los sistemas de producción en Colombia



Fuente FNG. Elaborado por: Oficina de planeación – FEDEGAN 2020

1.2 Ganadería doble propósito en Colombia

La producción de leche especializada en Colombia cuenta con una variedad de razas, dentro de las cuales las más usadas son: Holstein, Simmental, Jersey y Normando, ubicadas principalmente en Antioquia, Cundinamarca, Eje Cafetero y Nariño. Convenientemente se ha instaurado un tipo de ganadería que involucra la producción de leche y carne en simultaneo, conocida como doble propósito, en la que se emplean cruces entre las razas cebuínas (*Bos primigenius indicus*) con razas especializadas de leche como Holstein, Normando, Pardo suizo (*Bos primigenius taurus*) y en algunas zonas con razas criollas taurinas. Este tipo de ganadería se encuentra principalmente en la Costa, la Orinoquia y los Santanderes (FEDEGAN & FNG, 2020).

En los sistemas doble propósito, se ordeñan las vacas (usualmente una vez al día) con los terneros al pie, de forma que estos contribuyen a generar el reflejo de bajada de la leche

(Pérez, 2017). Existen algunas variedades en la forma de obtención de la leche en este tipo de sistemas: a) el ternero se amamanta brevemente de todos los cuartos de la ubre, b) los productores ordeñan todos los cuartos y c) los productores extraen la leche de tres de ellos, dejando uno sin ordeñar para la alimentación del ternero (Pérez, 2017). Cabe resaltar que este tipo de sistemas puede ser implementado en cualquier agroecosistema independiente de la altitud (Cortés et al., 2012). Sin embargo, el término de sistema doble propósito se ha implementado para describir los sistemas de producción ganaderos ubicados en las zonas con bajas altitudes sobre el nivel del mar de Latino América (Ortega & Ward, 2005; Cuevas-Reyes & Rosales-Nieto, 2018).

En Colombia se ha trabajado con sistemas doble propósito como una alternativa para reducir costos o ampliar el margen de rentabilidad, ya que estos sistemas de producción se caracterizan por su sencillez, estabilidad, flexibilidad y liquidez diaria, lo que ha permitido a los productores sobrevivir en un medio cambiante (Urdaneta et al., 2008) (Bulla & Julián, 2020). La producción de leche genera al ganadero una mayor liquidez o flujo de caja, mientras que con la ceba el retorno económico se obtiene cuando el novillo gana el peso esperado, lo que puede tardar entre 2 y 4 años (Restrepo, 2014). A pesar de que algunos autores han reconocido el potencial que poseen los sistemas doble propósito, también coinciden en que la falta de conocimiento acerca de sus recursos, así como la escasa implementación de tecnología y registros productivos, han limitado la generación de planes de mejoramiento a nivel productivo que lleven a una mayor productividad en estos sistemas (Magaña et al., 2006; Cuevas Reyes et al., 2018; R. González et al., 2020).

Alrededor del 83 % del territorio colombiano se encuentra en zonas de trópico bajo, siendo este el medio natural en el que se ubica la gran mayoría de los sistemas de doble propósito que producen cerca del 50 % del total de la leche del país (Cortés et al., 2012). En general, los índices productivos y reproductivos en la ganadería doble propósito son bajos; las vacas producen en promedio un ternero cada dos años, con una tasa de parición que varía entre el 40 y 50 % (Urdaneta, 2009). En el caso de los terneros, las ganancias diarias de peso oscilan entre 200 y 700 gr, el peso al destete promedio de estos animales es de 156 kg con una edad promedio de 8 meses y una variación amplia que va desde los 146 kg hasta 196 kg (Urdaneta, 2009). La ganancia diaria de peso post-destete (6 a 12 meses) varía

entre 200 y 300 gr y la producción diaria de leche promedio varía entre 2 y 4 kg, con lactancias de 180 a 210 días (Urdaneta, 2009). Por otro lado, estudios más recientes en sistemas doble propósito en México han mostrado duraciones de lactancias de 3 a 4 meses, con producciones de 6 litros por día por vaca y destetes de 150 kg (Cuevas Reyes et al., 2018).

1.3 Componente racial en la ganadería doble propósito en Colombia

Como se mencionaba en el ítem anterior, en los sistemas doble propósito, se emplean cruces entre las razas *Bos primigenius indicus* (Gyr, Guzerat o Nellore) con razas especializadas de leche *Bos primigenius taurus* (Holstein, Normando, Jersey y Pardo suizo) y en algunas zonas con razas criollas taurinas. Sin embargo, en Colombia se favorece el uso de la raza Holstein (la más productora de leche en el mundo) y de la raza Gyr (la que más produce leche en condiciones de trópico bajo), siendo que esta última confiere características de rusticidad.

El *Bos primigenius Indicus* también conocido como ganado cebú es originario de Asia, específicamente de la India y es muy popular en países del trópico. Se trata de un mamífero rumiante grande de cuerpo robusto, con unos 120-150 cm de altura y 600-900 kg de peso medio, domesticado desde hace unos 10.000 años en el oriente medio (ASOCEBU, s.f.). Los animales *Bos primigenius Indicus* se caracterizan por su alta rusticidad y adaptabilidad a condiciones tropicales, resistencia a parásitos, mayor resistencia a estrés hídrico, etc. Estos animales ingresaron a Colombia desde mediados del siglo pasado y gracias a su productividad en la actualidad están cerca de aportar el 50 % del inventario nacional, encontrando la raza Gyr como una de las más representativas de la especie (ASOCEBU, s.f.).

La raza Gyr, es proveniente de la península de Kathiawar, en la India, región que se caracteriza por su clima muy cálido y suelos muy pobres y secos. Es una raza que permite a los ganaderos la alternativa de cruzamientos para producir ganado doble propósito (ASOCEBU, s.f.). Brasil es el país que más se ha destacado en el desarrollo de programas de mejoramiento genético en el trópico con esta raza, ha obtenido importantes avances en su rebaño de leche por medio del mejoramiento genético clásico y de técnicas

reproductivas como inseminación artificial, transferencia de embriones y fertilización *in vitro*, especialmente para características de fácil medida y alta heredabilidad (ASOCEBU, s.f.).

Por su parte, el *Bos primigenius taurus*, como la raza Holstein, Jersey y Pardo suizo, tuvo su proceso de domesticación desde el norte de África hasta las costas del Atlántico y el Pacífico de Eurasia, se dispersó rápidamente hacia el noroeste a través de Turquía hacia los Balcanes y hacia el norte de Italia, para posteriormente dispersarse por toda Europa (Pitt et al., 2019). A su vez, los bovinos criollos provenientes de la Península Ibérica y las Islas canarias fueron introducidos en el nuevo mundo durante el periodo de la conquista. Sin embargo, la intensificación ganadera durante el siglo XX ha generado una disminución de la mayor parte de los núcleos criollos.

La raza europea Holstein, se caracteriza por ser la líder en producción de leche en todo el mundo y predominar en los sistemas de producción de leche especializados de Colombia, especialmente en el trópico alto (Rincón et al, 2015). Sin embargo, son animales que debido al proceso evolutivo y de mejoramiento zootécnico productivo, no cuentan con buena adaptación a las condiciones de trópico medio y bajo del país. De aquí la importancia de implementar cruzamientos entre razas *Bos primigenius indicus* y *Bos primigenius taurus* que permitan generar animales con mejores parámetros productivos y reproductivos para las zonas de trópico medio y bajo del país.

Razas cebuínas como el Gyr, tienen gran potencial lechero que aunado a su adaptabilidad a las condiciones de trópico bajo y medio en el país, se constituyen en un importante recurso genético que mediante cruzamientos con razas de origen taurino, como Holstein producen animales de alto valor comercial y productivo para sistemas doble propósito (Mejía et al., 2010).

Al cruce resultante entre animales de la raza Holstein con la raza Gyr se le denomina generalmente Girolando. Sin embargo, la raza Girolando es el resultado de una variedad de cruzamientos de ejemplares de la raza pura Holstein, con ejemplares de la raza pura Gyr lechera, pasando por diversos cruces, desde 1/4 Holstein x 3/4 Gyr, llegando

finalmente a estandarizar un patrón racial de 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, convirtiéndola en una nueva raza lechera pura sintética, muy productiva y genéticamente adaptada a climas cálidos (Barbosa da Silva et al., 2013). Según datos de ASOCEBU del año 2012, el Girolando en Brasil, en las primeras líneas de cruzamiento, muestra una productividad promedio de 3.500 kg de leche por lactancia ajustada a 305 días (Motta-Delgado et al., 2012). De igual manera, en el caso de Colombia se han realizado estudios de Girolando en el que se han encontrado producciones promedios de 3.538 kg ajustadas a 305 días en climas cálido (Motta-Delgado et al., 2012) y de 4.264,8 kg en promedio a 290 días de lactancia en trópico alto (Arboleda & Gómez, 2020). Por otro lado, reconocidos investigadores en el tema de cruzamiento para la obtención de animales doble propósito han reportado producciones promedias de $3.473,4 \pm 1.178,4$ kg corregida a 305 días en animales 1/2 Holstein x 1/2 Gyr de Brasil (McManus et al., 2008) comparado con $3.049,2 \pm 1.191,8$ corregida a 305 días para Holstein puro en condiciones de trópico bajo.

Es así, que el cruzamiento de animales de alta producción provenientes de ambientes templados con animales resistentes a condiciones de clima cálido del medio tropical, se convierte en una de las alternativas para la producción de animales resistentes al estrés calórico del trópico (Córdova et al., 2005) e incluso, estudios recientes han demostrado que los ejemplares F1 presentan una mayor capacidad para tolerar condiciones adversas de temperatura (Lima et al., 2013). Los animales F1 son valorados por su vigor híbrido y suelen ser más eficientes en cuanto a producción de leche y carne en zonas tropicales debido a la habilidad combinatoria de los genes de cada origen, los cuales aumentan su heterocigosidad en cruzamiento. En otras palabras, al tener animales F1 se espera que estos tengan exactamente la mitad de los genes autosómicos de cada raza parental y todos los loci ocupados con un gen de cada raza (Ramírez & Uribe, 2010), lo que se traduce en una heterocigosidad en el 100 % del genoma (100 % de heterosis).

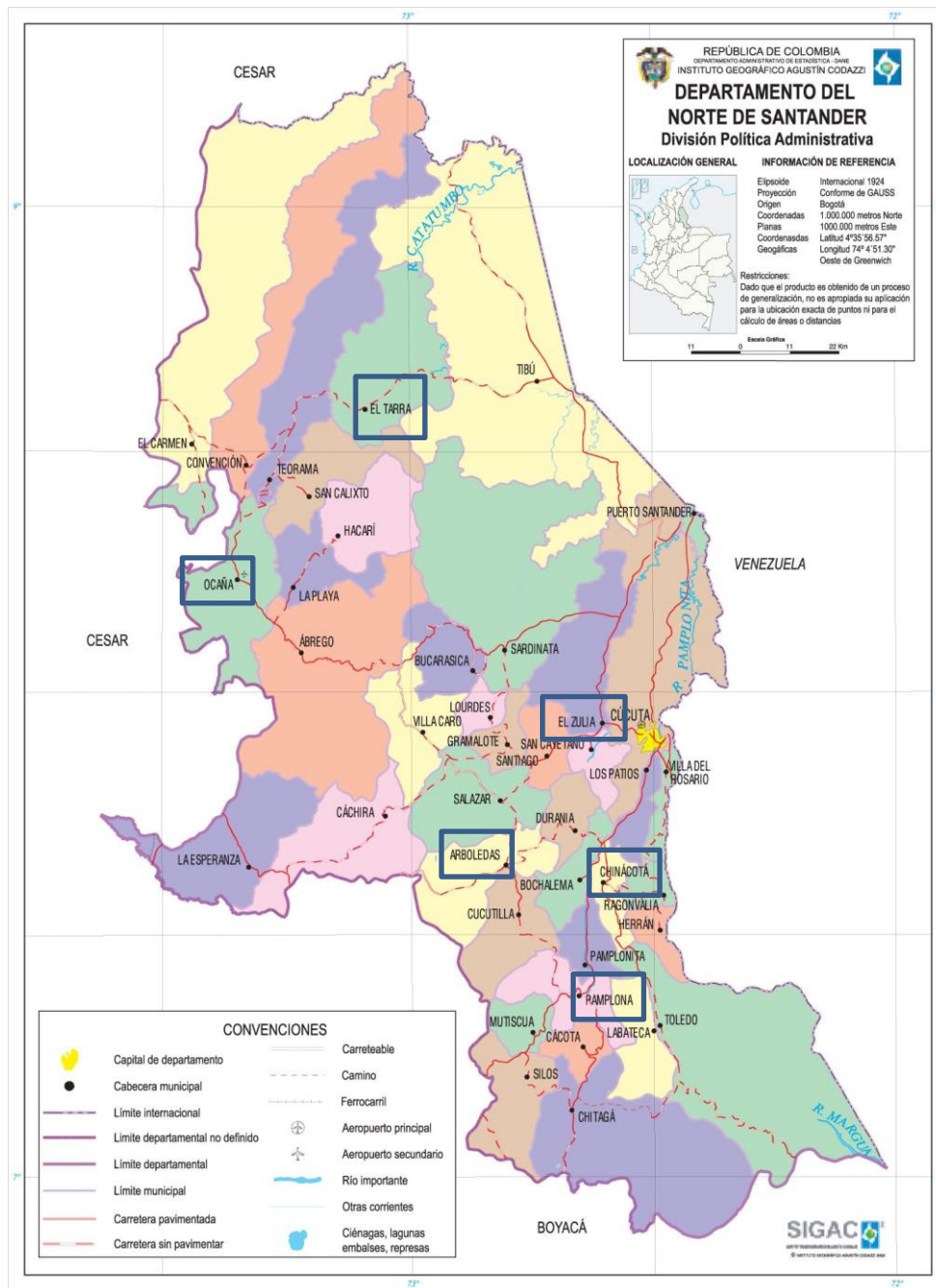
1.4 Generalidades del departamento de Norte de Santander

El departamento de Norte de Santander limita al norte y al este con Venezuela, al sur con los departamentos de Boyacá y Santander y al oeste con Santander y Cesar. Cuenta con una variedad de climas; las temperaturas van desde los 30°C en los valles del Zulia y Catatumbo, hasta los 3°C en los altos páramos. El régimen de lluvias varía de norte a sur; encontrándose que en las tierras selváticas del Catatumbo la precipitación alcanza los

3.500 mm anuales; en el sur, valle del Zulia y zonas montañosas, se llegan a registrar 500 mm. Cuenta con una variedad de pisos térmicos (cálido, templado y frío y el piso bioclimático páramo) y variedad en la fertilidad de sus suelos (UPAMPLONA, 2017). La economía del departamento es la sexta más grande de toda Colombia y se basa en la explotación de recursos naturales como el carbón y el petróleo. A su vez, la participación en el PIB del departamento a nivel nacional sigue siendo muy baja, encontrándose que la actividad de mayor participación en este son los servicios sociales, comunales y personales (24 %), seguido por establecimientos financieros (15 %), mientras que la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca se encuentra en el quinto lugar (11 %) (UPAMPLONA, 2017).

El departamento de Norte de Santander se caracteriza por la presencia de la ganadería en gran parte de su territorio. Por ende, es importante reconocer las diversas condiciones ambientales y productivas que se presentan en los municipios de mayor relevancia para la ganadería del departamento y que a su vez representan los diferentes sistemas ecológicos existentes del país. Para el año 2019 se reportaron un total de 474.490 bovinos en el departamento, de los cuales 68.050 se encontraban en los 6 municipios de interés de este estudio repartidos de la siguiente manera: Arboledas (6.392), Chinácota (9.500), El Tarra (14.348), El Zulia (18.897), Ocaña (11.593) y Pamplona (7.320) (ICA, 2021). En la Figura **1-3** se muestra la ubicación de estos municipios.

Figura 1-3: Mapa de Norte de Santander



Fuente: Sigac

El municipio de Arboledas está ubicado en la región central del departamento de Norte de Santander a 946 msnm y posee una temperatura media de 22°C. Limita al norte con Salazar de las Palmas, al sur con Cucutilla, al oriente con Bochalema y Durania y al

occidente con Cáchira y el departamento de Santander (alcaldía de Arboledas, 2019). Arboledas aporta al producto interno bruto departamental el 0,41 % (DANE, 2019). Su producción agrícola más importante es el café; otros cultivos que se destacan en el municipio son la caña, el plátano y cultivos de tomate de árbol y lulo, la producción en bovinos de leche resalta por la topografía del municipio; igualmente se encuentra la producción de porcinos, conejos y aves de corral (alcaldía de arboledas, 2019).

Por su parte, El Tarra se encuentra localizado al norte del departamento a 225 msnm y posee una temperatura media de 28°C. Limita con los municipios de Tibú al norte y oriente, San Calixto al sur y Teorama al occidente (alcaldía El Tarra, 2019). El Tarra aporta al producto interno bruto departamental el 0,6 % (DANE, 2019) y evidencia una gran aptitud para la producción agropecuaria; participa con un 24 % para producción de leche y 23 % para producción de carne en relación a su extensión (SIPRA, 2022).

Con relación al municipio de Ocaña, este se encuentra situado sobre la cordillera oriental andina en la zona centro occidental del departamento de Norte de Santander, posee una altura máxima de 2.065 msnm y mínima de 761 msnm y una temperatura promedio de 25°C. Limita por el Oriente con los Municipios de San Calixto, La Playa y Abrego, por el Norte con los municipios de Teorama, Convención y El Carmen, por el Sur con el Municipio de Ábrego y por el Occidente con los Municipios de San Martín y Río de Oro (Alcaldía de Ocaña, 2018). La participación en el producto interno bruto (PIB) departamental que tuvo el municipio para el año 2019, presentó un peso relativo en el PIB de 5,5 %. Dentro de los aportes al PIB se encuentra la actividad de ganadería bovina, la cual viene presentando un aumento en su inventario animal del año 2019 con respecto al 2018 y 2017 con un total de 11.418, 10.629 y 9.488 animales, respectivamente (ICA, 2020).

El Municipio de Chinácota pertenece a la subregión Suroriental del Departamento de Norte de Santander. Limita al norte con Bochalema y Los Patios, al sur con Pamplonita y Toledo, al oriente con Herrán y Ragonvalia, y al occidente con Bochalema y Pamplonita; posee un clima templado con una temperatura que oscila de 18 a 22 °C, su altitud va desde los 600 a los 3.200 m.s.n.m (Alcaldía de Chinácota, 2018). El municipio participó con el 1,2 % del producto interno bruto (PIB) departamental para el año 2019 (DANE, 2019). La aptitud de

producción de leche está en un 9,6 % y de carne en 13 % con relación a su extensión. (SIPRA, 2022).

El municipio El Zulia está situado en una región con topografía plana, con una altitud de 220 m.s.n.m, la temperatura se encuentra con mínimas de 22°C y máximas de 33°C. Cuenta con una precipitación anual de 1.312 mm al año (Alcaldía El Zulia, 2019). El municipio El Zulia aporta al producto interno bruto departamental el 2,81 % (DANE, 2019). Su principal fuente de ingresos es la producción agrícola donde se resaltan los cultivos de arroz debido a la cantidad de afluentes que facilitan la producción de este cultivo; la principal actividad pecuaria es la pesca de bocachico y bagre entre otras especies (Alcaldía El Zulia, 2019). La aptitud de producción de leche está en el 32,4 % en relación a su extensión (SIPRA, 2022) .

Finalmente, el municipio de Pamplona presenta una temperatura promedio de 15,4 °C, con rangos que varían de 8 a 17°C. (Alcaldía de Pamplona, 2018). Presenta una variedad de pisos térmicos y ríos como el Pamplonita, el Chitagá y el Zulia, que le permiten al municipio tener una gran diversidad de productos agrícolas durante todo el año (Contreras, 2016). Por otro lado, este municipio tiene dentro de sus actividades económicas, el cultivo de papa (principal producto), fresa, ajo, trigo, morón, maíz, frijón, arveja y zanahoria, además de la producción de bovinos, porcinos, piscicultura, cunicultura y aves de corral (Alcaldía de Pamplona, 2016). Pamplona tiene una participación en el Producto Interno Bruto departamental de 2,50 % (DANE, 2018).

Como se puede observar, estos municipios del departamento de Norte de Santander involucran en sus principales actividades económicas a la ganadería. Sin embargo, son pocos o nulos los estudios enfocados a evaluar los índices productivos en animales doble propósito en esta región, situación que conlleva a pensar en la ejecución de proyectos que involucren programas de caracterización fenotípica y genómica y el uso de biotecnologías para que, con el desarrollo de estos, sea posible maximizar la productividad bovina en estas zonas.

1.5 Características de interés económico en ganadería doble propósito

La ganadería de carne, leche y doble propósito debe medir y evaluar constantemente características que tengan valor e impacto económico. El análisis de la información de desempeño productivo, reproductivo y sanitario de los animales contribuyen a la implementación efectiva de tecnologías de selección animal que conllevan al aumento de la productividad ganadera del país (Moreira et al., 2015).

En el caso específico de la ganadería doble propósito, la implementación de estudios genómicos y de caracterización en rasgos de crecimiento (peso al nacimiento), productivos (producción de leche, proteína en leche y grasa en leche) y sanitarios (Recuento de Células Somáticas) son relevantes como indicadores de selección de individuos superiores, lo que podría generar un beneficio económico a los productores.

1.5.1 Peso al nacimiento

El crecimiento de los terneros es importante y por ende debe ser evaluado. En este aspecto, el seguimiento al peso de los individuos toma relevancia. El peso al nacimiento es la primera medida realizada al animal con respecto a las características de crecimiento; medir esta variable es de vital importancia si se tiene en cuenta que, está relacionada con menor o mayor dificultad de la vaca al parto, aspecto que conlleva a que se dé o no una rápida involución uterina y por ende, una más pronta concepción y menor intervalo entre partos (IEP) (Pérez, 2017) (Ossa et al., 2011). Generalmente, se encuentran mayores pesos en machos que en hembras, estas diferencias pueden atribuirse a la capacidad genética de los machos para la deposición de musculo, lo que implica tasas más altas de ganancia de peso y crecimiento pre y postnatal debido a factores hormonales (Ernandes et al., 2003). El peso al nacimiento es uno de las características de mayor importancia en la mortalidad hasta las 24 horas (Bolívar et al., 2009) y está altamente correlacionado con el peso al destete y con posteriores medidas de crecimiento.

1.5.2 Producción y calidad composicional de la leche (porcentaje de grasa y proteína)

La producción y calidad de la leche son algunas de las características fenotípicas de mayor importancia en ganado lechero. Estos rasgos no dependen del accionar de una única hormona, sino de una compleja composición genética e interacción ambiental que desencadena una serie de sucesos que ocurren en el sistema endocrino a partir del tercer semestre de la gestación, en donde la glándula mamaria se prepara para la producción y secreción de la leche (Echeverri et al., 2010).

Las características composicionales, sanitarias e higiénicas de la leche se ven afectadas por ciertos factores como la raza, alimentación, edad de la vaca, el clima, estado de salud, entre otros. Los parámetros que debe cumplir la leche de alta calidad son los siguientes; porcentaje de proteína > 3,2 %, porcentaje de grasa > 3,5 %, porcentaje de sólidos totales > 12,2 %, bajo número de mesófilos < 50000 ufc/mL y bajo recuento de células somáticas < 100000CS/MI. A su vez, debe ser libre de inhibidores y debe garantizar ser un producto inocuo (Duran-Rojas et al., 2020).

La calidad composicional de la leche, es un parámetro que indica la composición fisicoquímica y es evaluada por medio del contenido de sólidos totales como proteína y grasa (González et al., 2017). La proteína es el componente químico más importante que tiene la leche, debido a que posee todos los aminoácidos tanto esenciales como no esenciales que necesita el hombre, pueden dividirse en dos grupos: la caseína (α S1, α S2, β y la kappa) y proteínas del suero (α lactoalbúmina, β lactoglobulina, inmunoglobulinas y seroalbúmina) (Greenwood & Honan, 2019). Del total de las proteínas de la leche el 78 % está formado por la caseína, el 17 % por proteínas del suero y el 5 % por sustancias nitrogenadas no proteicas (Ariza, 2007). La grasa es uno de los componentes de la leche que más varía a causa de factores como la raza, salud, edad de la vaca, estado nutricional e intervalos de ordeño del animal (Calderón et al., 2007).

Es importante tener presente que la cantidad y calidad nutricional de la leche varía según la etapa de lactancia y edad de la vaca debido a factores fisiológicos, genéticos, sanitarios, nutricionales y de manejo. Por tal motivo, los productores deben implementar metodologías

que les permitan mantener altos niveles de producción y que a su vez garantice el máximo de eficiencia económica (Cerón-Muñoz et al., 2014).

En Colombia, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2012) estableció, en la resolución 000017 capítulo 2 “De las bonificaciones y/o descuentos por concepto de la calidad composicional y demás disposiciones”, que el pago de la leche está determinada por la calidad composicional, relacionado con las características físico-químicas de la leche, bonificaciones obligatorias conferidas por calidad higiénica y calidad sanitaria, buenas prácticas ganaderas (BPG), costos de transportes, bonificaciones voluntarias del agente comprador y liquidación diferencial de acuerdo a la región lechera, en donde se agrupa un conjunto de departamentos según sus características productivas de la siguiente forma: **Región 1.** Conformada por los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Boyacá, Quindío, Risaralda, Caldas, Nariño, Cauca y Valle del Cauca. Para las cuales se establece un pago de \$18,27/gr para proteína, \$ 6,09/gr para grasa y \$ 6,46/gr para sólidos totales. **Región 2.** Conformada por los departamentos de Cesar, la Guajira, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Chocó, Magdalena, Norte de Santander, Santander, Caquetá, Tolima, Huila, Meta, Orinoquía y Amazonia. Para las cuales se establece un pago de \$16,48/gr para proteína, \$ 5,49/gr para grasa y \$ 6,14/gr para sólidos totales.

Generalmente, la región 1 abarca los sistemas de producción de lechería especializada conformada principalmente por razas taurinas caracterizadas por presentar producciones de leche entre los 4,66 y 8,86 litros de leche por vaca diarias, pero con bajos contenidos de sólidos (Cadena et al., 2019). Por su parte, la región 2 acoge en gran medida a los sistemas doble propósito en el que se concentran razas índicas y sus cruces con razas taurinas, las cuales presentan volúmenes más bajos de producción, pero con mejores contenidos de sólidos y en las que se alcanzan producciones entre los 2,93 a 4,43 litros de leche por vaca diarias (Cadena et al., 2019). Esta división regional ha generado efectos diferenciados para el mercado primario del sector lácteo en Colombia en la que según cifras de la Unidad de Seguimiento al Precio de la Leche (USP) del MADR, entre enero de 2011 y abril del 2020, el promedio de leche cruda colectado por la agroindustria del sector en la región 1 fue de aproximadamente 198.691.406 litros mensuales, mientras que para la región 2 fue de 47.660.412 litros mensuales (Yanes-guerra & Cruz-almanza, 2021).

Existen actividades zootécnicas que deben realizarse para la evaluación de la producción de leche y sus componentes, conocidas como control lechero. El control lechero es un procedimiento que se realiza con fines económicos, comerciales y zootécnicos con el fin de evaluar la cantidad y calidad composicional de la leche.

El Comité Internacional de Registro Animal (ICAR) establece tres métodos para el registro de producción de leche, de acuerdo con su frecuencia, el número de ordeños e instituciones o responsables de dicho registro. El método A, consiste en mediciones realizadas por un representante oficial de la organización responsable; en el método B, todos los registros son realizados por el productor y en el método C, las mediciones son realizadas por el productor o el administrador de la finca, y por un representante oficial de la organización responsable (ICAR, 2018). A continuación, se muestran las normas para el registro y los intervalos de muestreo (Tabla 1-1) y el símbolo que debe ser usado según el número de ordeños por día (Tabla 1-2).

Tabla 1-1: Normas para el registro e intervalos de muestreo de leche.

Intervalo (semanas) entre controles	Número mínimo de controles por año	Intervalo (días) de controles	
		Mínimo	Máximo
1	44	4	10
2	22	10	18
3	15	16	26
4	11	22	37
5	9	32	46
6	8	38	53
7	7	44	60
8	6	50	70
9	5	55	75
Daily	310	1	3

Fuente ICAR

Tabla 1-2: Símbolos usados según el número de ordeños por día.

Número de ordeño por día	Símbolo
Un ordeño por día	1 x
Dos ordeños	2 x
Tres ordeños	3 x
Cuatro ordeños	4 x
Ordeño continuo (por ejemplo, ordeño robotizado)	R x
Ordeños regulares en momentos diferentes cada día (ejemplo 10 ordeños/semana). Se muestran como el número medio de ordeños diarios.	1.4 x
Animales ordeñados y amamantados. (Número de veces ordeñadas para prefijar la S)	S x

Fuente ICAR

1.5.3 Calidad sanitaria de la leche (Recuento de Células Somáticas)

La variable recuento de células somáticas (RCS), indica la cantidad de células que se difunden desde la sangre a los tejidos y conductos de la glándula mamaria, como respuesta inflamatoria defensiva a una agresión traumática, en la mayoría de los casos, infecciosa (Álvarez, 2015). Así mismo, es usada como indicador de la salud mamaria con base en que reflejan una respuesta inmune y por tanto, la presencia de infección (Bradley & Green, 2005) (Vallejo et al., 2018). Generalmente, se considera que una vaca sana presenta un recuento de células somáticas por debajo de 200.000 células/ml (Winston, 2018). Sin embargo, este umbral puede variar y verse afectado por factores genéticos, nivel de producción, estado de lactancia, edad y número de partos de la hembra, entre otros (Cerón-Muñoz et al., 2014).

La mastitis se caracteriza por la inflamación de la glándula mamaria, como mecanismo para destruir o neutralizar agentes ofensivos que genera alteraciones en la composición fisicoquímica de la leche y cambios como pérdida de la funcionalidad (Henry Jurado-Gómez et al., 2020). Es considerada a nivel mundial una de las enfermedades más costosas para la ganadería, afectando directamente la producción de leche. Las consecuencias negativas que trae la presencia de mastitis pueden afectar toda la cadena

de producción generando pérdidas para el productor, procesador y/o consumidor (Gaviria, 2007; Winston, 2018). Dentro de las pérdidas económicas que se pueden resaltar están el descarte de vacas que no producen debido a la pérdida de uno o más de sus cuartos, disminución en la producción, descarte de leche por aplicación de medicamentos antibióticos, aumento en los costos de tratamientos, llegando a representar alrededor del 70 % de los gastos totales para los productores (Mera Andrade et al., 2017).

La mastitis se puede clasificar como clínica o subclínica, dependiendo del grado de inflamación y lesiones en la ubre de la vaca. De esta manera, la mastitis clínica, se refiere a la anormalidad que se puede observar fácilmente en la glándula mamaria de la vaca o en la leche. En este caso, se presentan alteraciones evidentes en la ubre, tales como hinchazón, enrojecimiento o cambios en las propiedades organolépticas de la leche y su composición (Reyad, 2015). Por otro lado, la mastitis subclínica se caracteriza por la presencia de microorganismos y un elevado conteo de células somáticas en la leche; en este tipo de mastitis no se presentan alteraciones evidentes en la ubre, pero si se generan cambios en la composición de la leche por la presencia de componentes inflamatorios y de bacterias (Winston, 2018) que pueden comprometer la producción futura de leche en las hembras afectadas.

Las células somáticas se han relacionado altamente con la presencia de mastitis convirtiéndose en una prueba diagnóstica valiosa para seguimiento y control de dicha patología, permitiendo detectar patrones de susceptibilidad y resistencia, información que puede usarse para mejorar la base genética y para reducir la incidencia de esta enfermedad. De esta manera, el RCS se convierte en uno de los parámetros más apropiados en la determinación de la salud de las ubres, la calidad sanitaria de la leche (Henry Jurado-Gámez et al., 2020) y la resistencia a mastitis (Winston, 2018).

1.6 Transferencia de embriones

La transferencia de embriones (TE) consiste en recolectar embriones de una vaca donadora que presenta superioridad genética sobre características de importancia económica, para posteriormente introducirlos en una vaca receptora (Lamb & Mercadante, 2014). La técnica para la producción de embriones bovinos, mediante la maduración y su

posterior fertilización *in vitro*, ofrece la posibilidad de obtener embriones a muy bajo costo que pueden ser utilizados con fines académicos, comerciales, de rentabilidad (semen sexado) y da la posibilidad de que una vaca con alto merito genético tenga mayor cantidad de crías (Peláez, 2011).

1.6.1 Hembras receptoras

La hembra receptora es aquella vaca que tiene como propósito servir de vientre para la gestación de un embrión hasta su nacimiento y luego criarlo, por tal razón deben contar con buen desarrollo corporal, un canal de parto ancho y nivelado y buena habilidad materna para garantizar el correcto desarrollo de la cría (Valencia, 2018). Estas hembras no aportan ningún componente genético a la cría. Uno de los puntos que toma gran importancia en los procesos de TE, está relacionado con todo el ambiente embriotrófico presente en la hembra receptora; dicha situación implica que es necesario realizar una correcta selección.

Dentro de los factores para tener en cuenta en las vacas receptoras está, que deben ser saludables y reproductivamente sanas y activas. De igual manera se deben tomar muestras serológicas con la finalidad de descartar enfermedades infectocontagiosas, ya que estos son factores que afectan directamente el desempeño reproductivo en la hembra receptora (Duica, 2013). Por otro lado, es de conocimiento que para la mayoría de los trabajos relacionados con la TE se utilizan hembras cruzadas que además de cumplir con lo anteriormente mencionado, tengan la capacidad de adaptarse favorablemente a los ambientes a los que son expuestas. Se ha reportado que la eficiencia luego de la aplicación de este tipo de biotecnologías se ha visto afectada por la utilización de hembras receptoras con deficiencias nutricionales, sanitarias, de manejo, reproductivas y que han sido sometidas a estrés calórico, etc. Por lo que la selección de hembras cruzadas resistentes a entornos desafiantes y en adecuadas condiciones biosanitarias en una opción acertada para el mejoramiento de los hatos mediante la tecnología TE (Duica, 2013; Vasconcelos et al., 2006).

1.7 Análisis multivariado y de inferencia estadística

Existen diversas herramientas con las que se puede conocer el comportamiento de cualquier característica de interés y los factores asociados a esta. Estas herramientas van desde el uso de análisis multivariados (análisis de correspondencia y el análisis de componentes principales) hasta el uso de estadísticas inferenciales (modelos lineales mixtos generalizados).

1.7.1 Análisis de correspondencia

El análisis de correspondencia (AC) hace parte de una técnica descriptiva o exploratoria que tiene como objetivo principal resumir una gran cantidad de datos en un número más pequeño de dimensiones y que se aplica sobre variables categóricas. En estos análisis se pueden evaluar dos (Análisis de correspondencia simple, ACS) o más (Análisis de correspondencia múltiple, ACM) variables de interés y se busca graficar las relaciones de dependencia o independencia existentes entre un conjunto de variables categóricas a partir de datos plasmados en una tabla de contingencia (ACS) o en una tabla disyuntiva completa (ACM). Para tal propósito, se asocia a cada una de las variables de la tabla, un punto en el espacio, de forma que las relaciones de cercanía/lejanía que se observan entre los puntos calculados manifiesten las relaciones de dependencia y semejanza existentes entre ellas (De la Fuente, 2011). La existencia o no de algún grado de asociación entre las variables X y Y se determinan por medio de contrastes de hipótesis utilizando la prueba de Ji-cuadrado de Pearson, donde H_0 denota una relación de independencia y H_a denota que ambas variables son dependientes. Si H_0 se rechaza ($p < 0,05$) las variables X y Y son dependientes. Por lo cual, es pertinente analizar los residuos del modelo, llamados residuos estandarizados o corregidos, los cuales indicarán qué celdas contribuyen en mayor grado al valor del estadístico de prueba Ji-cuadrado. De esta manera, cuanto mayor sea el valor de los residuos, mayor es la probabilidad de que una determinada combinación de valores de los diferentes niveles de cada variable sea significativa.

1.7.2 Análisis de componentes principales

El Análisis de componentes principales (PCA) también es utilizado para situaciones en las que se trabaja con un número elevado de variables y se pretende reducir el número de dimensiones presentes en un conjunto de datos de variables cuantitativas (Selli et al.,

2021). El principal objetivo de esta técnica multivariada es transformar las variables correlacionadas en un número menor de variables construidas a partir de combinaciones lineales de las originales, de tal manera que dichas combinaciones, expliquen en mayor proporción la posible varianza inicial (Deduy Guerra, 2019). A esas nuevas combinaciones se les denomina componentes principales o PC y dentro de sus ventajas se destaca la facilidad de interpretar visualmente el comportamiento de las variables y sus observaciones por medio de gráficos, en los que puntos que estén próximos entre sí representan variables altamente correlacionadas, por el contrario, puntos distantes entre sí representan variables poco correlacionadas. De igual manera, cuanto más alejado se encuentre un punto del punto central formado por los componentes principales mayor será la importancia de este punto sobre la variabilidad de la dimensión considerada (Meyer, 2005).

El PCA se ha implementado en varios campos de la investigación; en la genética y genómica se ha sido utilizado como una herramienta para generar índices de selección y estudiar la diversidad y estructura genética de las poblaciones. En esta última aplicación se busca que a partir de los datos genotípicos se evalúen las relaciones genéticas entre individuos y se busquen posibles aglomeraciones entre la población de estudio y las poblaciones de referencia utilizadas, para así finalmente generar una idea de los posibles componentes raciales presentes en la población estudiada (Rosero Alpala et al., 2021).

1.7.3 Análisis por medio de modelos lineales generalizados mixtos

En estudios desarrollados en el sector agropecuario especialmente en ganadería, se presentan situaciones en las que se hace complejo utilizar los modelos clásicos (modelos lineales) debido a que algunos de los datos evaluados se corresponden con medidas repetidas en el tiempo, para las cuales se incumplen los supuestos de independencia, igualdad de varianzas y linealidad. A partir de esto se han tratado de realizar estudios para determinar que procedimiento resulta más adecuado en el análisis de medidas repetidas. Dentro de los modelos lineales comúnmente utilizados se ha implementado el análisis de varianza univariado, (ANOVA), multivariado (MANOVA) y modelos mixtos.

Cuando se trabaja con medidas repetidas en el tiempo sobre la misma unidad experimental (planta, animal, etc.) no es posible aleatorizar el factor tiempo, además, si las medidas evaluadas sobre la misma unidad experimental se encuentran cercanas en el tiempo, se podrían generar correlaciones entre sí. Con los modelos mixtos se busca modelar una variable respuesta en función de factores o covariables consideradas como constantes fijas o variables aleatorias. A su vez, pueden utilizarse modelos mixtos en los que se consideren patrones de covarianza dentro de las unidades experimentales, siendo estos los que se relacionan con diseños de medidas repetidas (Gómez et al., 2012). Una de las ventajas más importante de los modelos mixtos es la posibilidad que brindan de modelar la correlación presente entre observaciones. Sin embargo, sobre este tipo de modelos debe haber cumplimiento de los supuestos de normalidad de los residuos, lo que en muchos casos no se cumple, siendo necesario la implementación de los modelos lineales generalizados mixtos (GLMMs).

Los GLMMs son una ampliación de los modelos lineales mixtos que permiten trabajar con datos en los que no hay distribución normal y en los que las observaciones se pueden correlacionar. Los GLMMs permiten que la media de una población dependa de un predictor lineal a través de una función de enlace de tipo no lineal y que la distribución probabilística de la variable respuesta sea cualquiera de la familia exponencial (Liu, 2016). Dichos modelos además de permitir modelar datos no normales permiten trabajar con datos desequilibrados y de una estructura más compleja. Adicionalmente, como se ha venido mencionando, las medidas repetidas en un mismo individuo, en un mismo lugar o las observaciones durante un mismo período de tiempo, a menudo están correlacionadas; esta correlación se puede explicar utilizando efectos aleatorios en los modelos mixtos lineales generalizados (Bolker et al., 2009; Bolker, 2015).

1.7 Genética y genómica

El mejoramiento genético tradicional (genética cuantitativa) ha tenido mucho éxito para evaluar características de alta y media heredabilidad con poblaciones de una misma raza que presentan una cantidad suficiente de información productiva y genealógica. Sin embargo, tiene algunas limitantes, que han restringido su aplicación para características de difícil selección o para poblaciones donde la disponibilidad de datos fenotípicos y genealógicos es limitada (Hayes & Goddard, 2010). Estudios recientes han demostrado que, al incorporar información genómica en los modelos de evaluación genética, se puede

mejorar la precisión de las estimativas y por ende del valor genético, lo que implicaría una mayor respuesta a la selección especialmente para aquellos rasgos de difícil mejora (Meuwissen et al., 2013)

Con la llegada de la genómica impulsada por la finalización del proyecto genoma humano, se han desarrollado una variedad de metodologías y tecnologías para la comprensión de fenómenos y exploración de tratamientos para diferentes patologías. (Rothschild et al., 2007). La búsqueda de bases genéticas en enfermedades humanas generó gran interés en los investigadores durante mucho tiempo. Hasta hace unos años se empezaron a revelar factores relacionados a diversas enfermedades humanas, con la ayuda de estudios de asociación de genoma completo (GWAS) (Fan et al., 2010). Estas investigaciones se extienden para implementarse directamente en el estudio de características de importancia económica en animales domésticos o de interés zootécnico, con gran expectativa en el reconocimiento de rasgos que impactan positivamente la rentabilidad de los sistemas productivos.

En el caso del genoma del ganado bovino, este fue ensamblado con métodos similares a los implementados para los genomas de otras especies como los erizos de mar y ratas (Jiang et al., 2010). Luego de su secuenciación completa, se ha logrado identificar una gran cantidad de variaciones en el ADN que pueden dar explicación a las diferencias que se presentan en el desempeño productivo y reproductivo de los animales (Fan et al., 2010). Estas variaciones que se encuentran a lo largo de la secuencia del genoma se conocen como marcadores de ADN; los más utilizados son los llamados polimorfismo de nucleótido simple o SNPs (single nucleotide polymorphisms).

Los SNPs son marcadores genéticos bialélicos que se distribuyen a lo largo del genoma y son fáciles de estudiar e interpretar. Estos polimorfismos se forman cuando ocurre una mutación puntual en la secuencia de ADN, cambiando un nucleótido por otro. Si la mutación se genera en una región codificante (exón) se puede generar una variación en la secuencia de una proteína, lo que puede afectar la expresión de cierta característica (Bejarano, 2016). Los SNPs se producen aproximadamente cada 700 pb en *Bos primigenius taurus* y cada 300 pb en el ganado *Bos primigenius indicus* (The Bovine

HapMap Consortium, 2009). Gracias al proceso de secuenciación realizado en diversas razas para ser utilizados como mapas de referencia se han identificado aproximadamente 61,8 millones de SNPs de los cuales aproximadamente 13 millones se pueden asociar a distintas características productivas (Andrés Carvajal & de la Barra, 2021).

A partir de animales *Bos primigenius taurus* se han desarrollado varios tipos de BeadChip con diferentes densidades de SNPs, uno de baja densidad que permite evaluar 6.909 SNPs de forma simultánea (illuminaSNP7k), otro de densidad media (BovineSNP50k) que incluye sondas para 54.600 SNPs altamente informativos y distribuidos de manera uniforme a través de todo el genoma bovino y finalmente, uno de alta densidad (BovineHD) que permite evaluar 777.962 SNPs diferentes (Matukumalli et al. 2009; Illumina Inc., 2016). Recientemente la compañía Neogen puso en el mercado un chip de densidad media (80k) para animales *Bos primigenius indicus*, dos chips de baja (GGP Bovine 50K) y dos chips de alta densidad (GGP Bovine 150k) específicos para ganado de leche y ganado de carne (Neogen, n.d). De igual manera para el año 2020, la compañía Neogen introdujo un nuevo chip denominado GGP bovine 100k, el cual abarca cerca de 100.000 SNPs y se caracteriza por dar mejor cobertura (espaciado SNP promedio de 29 kb), distribución uniforme, imputación precisa y una mejor estimación de MAF (frecuencia media ponderada de alelos menores) (Neogen, n.d.).

Por otro lado, la tecnología de marcadores de ADN representa un medio prometedor para determinar la identidad genética y el parentesco de un animal. El atractivo que tiene la implementación de SNPs, radica en que a comparación de otros tipos de marcadores de ADN, son abundantes, genéticamente estables y susceptibles de análisis automatizados de alto rendimiento (Heaton et al., 2002). Es por esto que desde hace un tiempo se plantea el uso de marcadores moleculares como una herramienta para determinar nivel de consanguinidad con mayor exactitud, determinar filiación genética y parental entre individuos en un hato, determinar regiones de homocigosidad, evaluar susceptibilidad a enfermedades genéticas, establecer características cualitativas como presencia de cuernos o color de pelaje, identificar individuos portadores de alelos deletéreos, entre otros, y de esta manera, ser más acertados en la selección que se realice en un hato direccionado al mejoramiento genético (Heaton et al., 2002; Scienski et al., 2019).

1.8 Estructura poblacional

El ganado vacuno se ha convertido en una de las especies domésticas de mayor relevancia por su capacidad para suministrar carne y leche. Los procesos de selección natural y artificial han llevado a generar una gran variedad de razas en términos de fenotipos que se encuentran bien adaptadas a diversos ambientes, sistemas de producción y propósitos de producción (Mastrangelo et al., 2020). Sin embargo, en los últimos 50 años la diversidad de razas de ganado ha sufrido una gran contracción, debido principalmente a la alta adopción y selección intensiva a nivel mundial de unas pocas razas muy productivas. Gracias a la llegada de altas técnicas de genotipado ha sido posible empezar a desarrollar análisis profundos y confiables de la estructura genética y las relaciones entre poblaciones de ganado (Mastrangelo et al., 2018), así como estudios de desequilibrio de ligamiento (LD).

1.8.1 Estructura genética

En Colombia se han llevado a cabo estudios relacionados con estructura genética principalmente en poblaciones de raza pura; de hecho, diversos estudios desarrollados en países como Colombia, Brasil y suiza han evaluado la estructura genética en poblaciones puras como BON (Martínez et al., 2013), Romosinuano, Casanareño, BON, Chino Santandereano, Hartón del Valle, Costeño con Cuernos, San Martinero (Bedoya et al., 2001), Simmental (Amaya et al., 2020). Nellore (Carla et al., 2013), Holstein (Sieklicki et al., 2020), Pardo suizo, Braunvieh, Original Braunvieh, Holstein, Red Holstein, Swiss Fleckvieh, Simmental, Eringer y Evolèner (Signer-Hasler et al., 2017). Sin embargo, en la situación particular de Colombia las poblaciones de ganado más representativas se basan en la obtención de cruces para los cuales son escasos este tipo de estudios. La información acerca de diversidad genética y estructura de la población existente entre las razas de ganado toma bastante importancia para llevar a cabo programas de mejoramiento genético, estudios de la comprensión adaptativa al ambiente, así como la correcta utilización y conservación de las razas de ganado (Makina et al., 2014).

Por otro lado, el estudio de la estructura poblacional se utiliza para lograr identificar las relaciones genéticas y posibles eventos de introgresión en las poblaciones estudiadas;

para esto se implementa un procedimiento de asignación probabilística de los individuos a determinados grupos genéticos en los que se hace uso de las proporciones de ancestría y las frecuencias alélicas de la población (Rosero Alpala et al., 2021). La aplicación de este tipo de estudios sobre poblaciones cruzadas permite en primer lugar un mayor acercamiento a reconocer que componentes raciales están conformando la población cruzada, como fue mencionado en un trabajo en el que con la asignación racial genotípica, lograron identificar 7 grupos genéticos en la conformación de una población multirracial (Rosero Alpala et al., 2021). En segundo lugar, se puede reconocer hasta qué punto se deben llevar los cruzamientos, de tal manera que permitan obtener la mayor productividad en los sistemas ganaderos bovinos, modelando el resultado obtenido de la composición racial de los animales con variables ambientales y determinar efecto sobre características de importancia económica.

1.8.2 Desequilibrio de ligamiento (LD)

Cuando en los programas de selección se explora y utiliza la heterosis, hay un aumento no uniforme de las regiones del genoma que están en heterocigosidad, conllevando a que haya una disminución en la aparición de segmentos largos en homocigosidad. Así mismo, con los cruzamientos de individuos de razas diferentes, se pueden generar asociaciones no aleatorias entre alelos de diferentes loci, que no persiste por muchas generaciones. De esta manera, la utilización de individuos cruzados puede llevar a un aumento de la heterocigosidad, disminución de la homocigosidad y puede aumentar el LD a nivel poblacional (Selli et al., 2021).

El LD por definición corresponde a la asociación no aleatoria entre alelos en diferentes loci. De tal manera, que si los alelos están en “equilibrio de ligamiento” son heredados de manera independiente, según la “ley de segregación independiente” de Mendel. Por el contrario, si los alelos están asociados de alguna manera, son heredados de manera dependiente llevando a lo que se conoce como “desequilibrio” según la segunda ley de Mendel. El grado de asociación entre alelos en diferentes loci es mayor cuánto menor es la distancia entre ellos, por lo cual alelos ubicados muy cerca en un mismo cromosoma tendrán mayor posibilidad de ser heredados de manera conjunta que aquellos con mayor distancia. Esta situación permite analizar el LD de acuerdo con la distancia presente entre

alelos observándose una disminución del valor, lo que se conoce como decaimiento del desequilibrio de ligamiento (Selli et al., 2021).

La genómica ha permitido explorar el LD entre marcadores favoreciendo el mapeo de locus de rasgos cuantitativos, debido a que estos marcadores se encuentran en LD con genes responsables de la expresión de rasgos cuantitativos (QTLs) (Espigolan et al., 2013). Por tanto, el estudio de LD se ha convertido en una herramienta importante para analizar la base genética de características de importancia económica en el ganado. A su vez, ha permitido establecer la diversidad entre razas de ganado con diferentes atributos biológicos y reconocer regiones del genoma que estuvieron bajo diferentes presiones de selección (Zhu et al., 2013). A pesar de la realización de estudios de desequilibrio de ligamiento en animales multirraciales por medio de simulación (Rahimi et al., 2020), el estudio de estructura poblacional en animales multirraciales en Colombia es casi nulo; no obstante, la mayoría de los sistemas de producción de Colombia están basados en el uso de este tipo de animales, lo que refleja la importancia del desarrollo de investigaciones en estas poblaciones.

Bibliografía

- Acosta, C. (2018). *Evaluación del porcentaje de preñez por transferencia de embriones para los predios Centenario y Fundadores durante el periodo 2015 a 2017*.
- Ainsworth, J. A. W., Moe, S. R., & Skarpe, C. (2012). Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 155, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.04.005>
- alcaldía de arboledas. (2019). *gobierno de arboledas*.
- Alcaldía de Pamplona. (2016). *Economía*. <http://pamplona-nortedesantander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- alcaldía El Tarra. (2019). *Plan de desarrollo municipal 2016-2019*.
- Alcaldía Zulia. (2019). *Alcaldía municipal del Zulia*.
- Álvarez, C., Heras, J., Vargas, O., & Sanchez, A. (2019). Influencia de dos métodos biotecnológico reproductivo sobre el peso al nacimiento y del manejo al destete de terneras Gyrolando. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(2), 119–124. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.916>

- Álvarez, J. E. G. (2015). Comparación de los indicadores productivos porcentaje de grasa, porcentaje de proteína, recuento de células somáticas (RCS), nitrógeno ureico en leche (MUN) y producción en litros de leche bovina de fincas pertenecientes a las microcuencas del norte y. In *Corporación Universitaria Lasallista Facultad* (Issue c).
- Amaya, A., Martínez, R., & Cerón-Muñoz, M. (2020). Population structure and genetic diversity in Colombian Simmental cattle. *Tropical Animal Health and Production*, 52(3), 1133–1139. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02111-w>
- Arboleda, M., & Gómez. (2020). *Comparación de algunos parámetros productivos y reproductivos de vacas Holstein y sus cruces con Jersey y Gyr en un hato lechero en trópico alto colombiano*. (Vol. 9, Issue May).
- Arce, C., Aranda, E., Osorio, M., Gonzáles, R., Díaz, P., & Hinojosa, J. (2017). Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en un hato de doble propósito en Tabasco, México Productive and reproductive parameters in dual-purpose Zebu x Holstein cattle in Tabasco, Mexico. *Rev Mex Cienc Pecu*, 8(1), 83–91. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4347>
- Ariza, E. (2007). *Evaluación De La Estabilidad Proteica En La Leche Y Su Relacion Con La Calidad Microbiologica En Los Municipios De Tocancipa, Tabio Y Zipaquirá*.
- Asocebu. (n.d.). *Razas*.
- Barbosa da Silva, M., Martins, M., De carvalho, L., Rodrigues, M., de freitas, A., Arbex, W., Lage, K., Canaza, A., & do Carmo, J. (2013). Programa de Mejoramiento Genético de la Raza Girolando Sumario de Toros Resultado de la Prueba de Progenie. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bejarano, D. (2016). *Estudio de asociacion genomica para características de crecimiento en las razas bovinas Criollas Blanco Orejinegro y Romosinuano*. 183. <http://www.bdigital.unal.edu.co/54717/>
- Bolívar, D., Ramírez, E., David, V., Restrepo, L. F., Mauricio, A., & Cerón-muñoz, M. (2009). Parámetros genéticos para el control del peso al nacimiento en bovinos de carne: cruzados en el trópico bajo colombiano. *Revista Lasallista de Investigación*, 6(2), 14–23.
- B.M. Bolker, M. E. Brooks, C. J. Clark, S. W. Geange, J. R. Poulsen, M. H. H. Stevens, and J.-S. S. White. (2009). Generalized Linear Mixed Models: A Practical Guide for Ecology and Evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(3):127–135. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.10.008>. [p378, 379]
- B. M. Bolker (2015). Linear and Generalized Linear Mixed Models. In G. A. Fox, S. Negrete-Yankelevich, and V. J. Sosa, editors, *Ecological Statistics*. Oxford University Press, Oxford, UK, [p378, 379] B.
- Bradley, A., & Green, M. (2005). Use and interpretation of somatic cell count data in dairy cows. In *Practice*, 27(6), 310–315. <https://doi.org/10.1136/inpract.27.6.310>
- Bulla, M., & Julián, S. (2020). El sector del ganado bovino en la región del valle de tenza, un estudio sobre el mercado más ventajoso desde las niif para pyme.

-
- Cadena, X., Reina, M., & Rivera, A. (2019). *Precio regulado de la leche: ineficiencias, costos y alternativas FEDESARROLLO*. 1–91. <http://hdl.handle.net/11445/3865>
- Caivio, S. (2020). Caracterización reproductiva , análisis genómico de series de homocigosidad y genes asociados a desórdenes genéticos en ganado Blanco Orejinegro de Colombia Caracterización reproductiva , análisis genómico de series de homocigosidad.
- Calderón, A., Sc, M., Rodríguez, V., & Vélez R, S. (2007). Evaluation of Quality Compositional the Milk in Four Processors of Cheese in the Municipality of Montería, Colombia. *Rev.MVZ Córdoba*, 12(1), 912–920. <https://www.redalyc.org/pdf/693/69312106.pdf>
- Carla, A., Barbosa, B., Henrique, C., Malhado, M., Luiz, P., Carneiro, S., Mirelle, L., Muniz, S., Ambrosini, D. P., & Carrillo, J. A. (2013). Population structure of Nellore cattle in northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(9), 639–644.
- Carlos Quispe, E., Edith Ancco, G., Juan Solano, A., Ide Unchupaico, P., & Edwin Mellisho, S. (2018). Embryonic development capacity of bovine oocytes aspired by ovum pick-up and from slaughterhouse ovaries. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 29(4), 1114–1121. <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i4.14418>
- Castillo-Badilla, G., Vargas-Leitón, B., Hueckmann-Voss, F., & Romero-Zúñiga, J. J. (2019). Factors that affect the production in first lactation of dairy cattle of Costa Rica. *Agronomy Mesoamerican*, 30(1), 209–227. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.33430>
- Cerón-Muñoz, M. F., Herrera-Ríos, A. C., Munera-Bedoya, Ó. D., Días-Giraldo, A., & Vergara-Garay, O. D. (2014). *Manejo de información zootécnica en hatos lecheros*.
- Consortium, T. B. H. (2009). Variation Uncovers the Genetic. *Science (New York, N.Y.)*, 324(April), 528–532. <https://doi.org/10.1126/science.1167936>
- Contreras, R. (2016). *Plan de desarrollo municipio de Pamplona “el cambio en nuestras manos” 2016 - 2019*. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>
- Córdova, A., Saltijeral, J., Rodríguez, G., Córdova, M., Córdova, A., Pérez, J., & Guerra, J. (2005). Comportamiento reproductivo de razas bovinas de carne europeas en condiciones de trópico húmedo mexicano (Reproductive behavior of european bovine races of meat under conditions of tropic humid mexican). *Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(11), 1–6.
- Cortés, J. A., Cotes, A., & Cotes, J. M. (2012). Structural features of dual-purpose cattle production system in the Colombian humid tropic. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(2), 229–239.
- Corzo, M., Caballero, L., & Rivera, M. (2018). factores que influyen en la composición y calidad microbiológica de la leche cruda almacenada en un centro de acopio. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 16(2), 86–106.
- Cozma, A., Martin, B., Guiadeur, M., Pradel, P., Tixier, E., & Ferlay, A. (2013). Influence of

- calf presence during milking on yield, composition, fatty acid profile and lipolytic system of milk in Prim'Holstein and Salers cow breeds. *Dairy Science and Technology*, 93(1), 99–113. <https://doi.org/10.1007/s13594-012-0094-1>
- Cuevas-Reyes, V., & Rosales-Nieto, C. (2018). Characterization of the dual-purpose bovine system in northwest Mexico: Producers, resources and problematic. *Revista MVZ Cordoba*, 23(1), 6448–6460. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1240>
- Cuevas Reyes, V., Loaiza Meza, A., Astengo Cázares, H., Moreno Gallegos, T., Borja Bravo, M., Reyes Jimenez, J. E., & González González, D. (2018). Análisis de la función de producción de leche en el sistema bovinos doble propósito en Ahome, Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(2), 376. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4545>
- DANE. (2018). *PBI por departamento*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>
- DANE. (2019). *PIB por departamento*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>
- Daza, N. (2022). *Observatorio Del Sector Lácteo Colombiano*. http://uspleche.minagricultura.gov.co/assets/boletin_economico_sector_lacteo_2022.pdf
- Deduy Guerra, I. (2019). *Regresión sobre componentes principales*. Universidad de Sevilla.
- Dirección de Cadenas Pecuarias Pesqueras y Acuícolas - Minagricultura. (2020). Cadena Cárnica Bovina. *Minagricultura*, 1, 36. <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fsioc.minagricultura.gov.co%2FBovina%2FDocumentos%2F2020-12-30%2520Cifras%2520Sectoriales.pdf&clen=3796340>
- Duica, A. (2013). Efecto del diámetro del folículo ovulatorio, tamaño del cuerpo lúteo y perfiles de progesterona sobre la tasa de preñez en la hembra receptora de embriones bovinos. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Durán-Rojas, E., Calderón-Rangel, A., & Ramírez-Montoya, J. (2020). Clasificación de empresas ganaderas doble propósito por calidad y canales de comercialización de la leche en el Caribe colombiano. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1358>
- Echeverri Zuluaga, J., Vázquez Araque, N., & Gallo Garcia, Y. (2010). Polimorfismo del gen de la Somatotropina Bovina y su asociación con características de importancia en la producción lechera. *Revista Lasallista de Investigación*, 7(1), 58–65.
- Edward, V. de villa. (2013). Vacunos Bajo Pastoreo Semi-Intensivo. *Sistemas de Revisiones En Investigación Veterinaria de San Marcos*, 1–11.
- Emmanuel Sessarego, D., Juan Chávez, C., Alberto Barrón, L., Angel Vásquez, R., & Manuel López, C. (2019). Edad al primer parto y productividad lechera del ganado

- bovino Holstein en la costa central del Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 30(4), 1603–1610. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17153>
- Ernandes, J., Sousa, R. De, Filho, R. M., Maria, S., & Oliveira, P. De. (2003). Influência dos fatores de ambiente no desempenho ponderal de bovinos da raça Nelore no Estado do Ceará Influence of environment factors on ponderal performance of Nelore cattle in state of Ceará, Brazil. *Revista Ciencia Agronomica*, 34, 133–138. <https://doi.org/10.1021/ja056469h>
- Espigolan, R., Baldi, F., Boligon, A. A., Souza, F. R. P., Gordo, D. G. M., Tonussi, R. L., Cardoso, D. F., Oliveira, H. N., Tonhati, H., Sargolzaei, M., Schenkel, F. S., Carneiro, R., Ferro, J. A., & Albuquerque, L. G. (2013). Study of whole genome linkage disequilibrium in Nellore cattle. *BMC Genomics*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-305>
- Fan, B., Du, Z. Q., Gorbach, D. M., & Rothschild, M. F. (2010). Development and application of high-density SNP arrays in genomic studies of domestic animals. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(7), 833–847. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.r.03>
- FEDEGAN, & FNG. (2020). *Balance y perspectivas del sector ganadero colombiano*. 1–19.
- Federación Colombiana de Ganaderos - FEDEGAN. (2018). Ganadería Colombiana Hoja de Ruta 2018-2022. In *Ganadería Colombiana*. http://static.fedegan.org.co/s3.amazonaws.com/publicaciones/Hoja_de_ruta_Fedegan.pdf
- Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN). (2021). Cifras de referencia del sector ganadero colombiano. *Fedegan*, 49. https://estadisticas.fedegan.org.co/DOC/download.jsp?pRealName=Cifras_Referencia_2017.pdf&ildFiles=641
- Ferenčaković, M., Hamzić, E., Gredler, B., Solberg, T. R., Klemetsdal, G., Curik, I., & Sölkner, J. (2013). Estimates of autozygosity derived from runs of homozygosity: Empirical evidence from selected cattle populations. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 130(4), 286–293. <https://doi.org/10.1111/jbg.12012>
- Ferreira, H., Mendes, J., Da Cunha Siqueira, C., Aparecida, E., Sávio, D., Antunes, M., Martins, P., & Silva, M. (2020). Desempenho de bezerros de corte de diferentes composições genéticas produtos de rebanho leiteiro. *J. of Develop*, 6(1), 39893–39908.
- Flores, R., Domínguez, N., Valverde, R., Viveros, D., Domínguez, M., & Cuevas, M. (2006). *Niveles y efectos de la consanguinidad en variables de crecimiento y reproductivas en bovinos tropicarne y suizo europeo*. 40(3), 289–301.
- Gaviria, B. (2007). *Calidad higienica y sanitaria de la leche cruda*.
- Gómez, S., Torres, V., García, Y., & Navarro, J. (2012). Procedimientos estadísticos más

- utilizados en el análisis de medidas repetidas en el tiempo en el sector agropecuario. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(1), 1–7.
- González, R., Sánchez, M., Bolívar, D., Chirindaa, N., Arangoa, J., Pantéveze, H., Correa, G., & Barahona, R. (2020). *Caracterización técnica y ambiental de fincas de cría pertenecientes a muy pequeños , pequeños , medianos y grandes productores Introducción*. 183–204. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v11n1/2448-6698-rmcp-11-01-183.pdf>
- González, Y., Torres, O., & Mora, E. (2017). *Análisis de la calidad higiénica y composicional de la leche cruda obtenida en sistemas de producción bovina en la vereda Rosal - Soracá (Boyacá)*.
- Greenwood, S. L., & Honan, M. C. (2019). Symposium review: Characterization of the bovine milk protein profile using proteomic techniques. *Journal of Dairy Science*, 102(3), 2796–2806. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15266>
- Guapi Guamán, R. A., Masaquiza Moposita, D., & Curbelo Rodríguez, L. (2017). Caracterización de Sistemas Productivos Lecheros en Condiciones de Montaña, Parroquia Químiag, Provincia Chimborazo, Ecuador. *Revista de Producción Animal*, 29(2), 1–11.
- Guerra, R., Menéndez, A., & Hernández, A. (2019). influencia de factores ambientales en la producción de leche de dos rebaños holstein en la cuenca lechera de Chiriquí. *Investigaciones Agropecuarias*, 2(2644–3856).
- Guerra, V. A., Orcid, D., Quintero, L., Zootecnista, T., Orcid, D., Guti, M. Q., Jos, M., & Estudiante, P. (2020). Medición de la condición corporal del ganado cebú Body condition measurement of zebu cattle. In *ECAMPA EWorking papers*. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.3672>
- Hayes, B., & Goddard, M. (2010). Genome-wide association and genomic selection in animal breeding. *Genome*, 53(11), 876–883. <https://doi.org/10.1139/G10-076>
- Health, H., Of, Q., In, M., & Systems, P. P. (2018). *calidad físico-química e higiénico sanitaria de la leche en sistemas de producción doble propósito , Manabí-Ecuador*. 5(1), 35–44.
- Heaton, M. P., Harhay, G. P., Bennett, G. L., Stone, R. T., Grosse, W. M., Casas, E., Keele, J. W., Smith, T. P. L., Chitko-McKown, C. G., & Laegreid, W. W. (2002). Selection and use of SNP markers for animal identification and paternity analysis in U.S. beef cattle. *Mammalian Genome*, 13(5), 272–281. <https://doi.org/10.1007/s00335-001-2146-3>
- Herradón, P., Quintela, L., Becerra, J., Ruibal, S., & Fernandez, M. (2007). Fecundación in Vitro: Alternativa Para La Mejora Genética En Bovinos. *Alpa.Org.Ve*, 15, 34–41. http://www.alpa.org.ve/PDF/Arch 15 Supl/p_herradon.pdf
- Hidalgo Bravo, G. A., & Vera Rodríguez, J. H. (2019). Edad al primer servicio y al parto sobre producción láctea en primera lactación en vaquillonas lecheras. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 11(2), 721. <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n2.2019.721>
- Hillestad, B., Woolliams, J. A., Boison, S. A., Grove, H., Meuwissen, T., Våge, D. I., &

- Klemetsdal, G. (2017). Detection of runs of homozygosity in Norwegian Red: Density, criteria and genotyping quality control. *Acta Agriculturae Scandinavica A: Animal Sciences*, 67(3–4), 107–116. <https://doi.org/10.1080/09064702.2018.1501088>
- ICA. (2020). *Censo pecuario nacional*.
- ICAR. (2018). *Section 1 General Rules for ICAR Guidelines*. 1–15. <https://www.icar.org/index.php/icar-recording-guidelines/>
- Jaramillo, O., & Cuervos, Wi. (2017). Evaluación productiva y composicional de la leche en vacas doble propósito, alimentadas con dos suplementos alimenticios a base de caña de azúcar procesada. *Revista Gestión y Región*, 24, 75–92.
- Jiang, L., Liu, J., Sun, D., Ma, P., Ding, X., Yu, Y., & Zhang, Q. (2010). Genome wide association studies for milk production traits in Chinese Holstein population. *PLoS ONE*, 5(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013661>
- Juárez-Barrientos, J. M., Herman-Lara, E., Soto-Estrada, A., Ávalos-de la Cruz, D. A., Vilaboa-Arroniz, J., & Díaz-Rivera, P. (2015). Tipificación de sistemas de doble propósito para producción de leche en el distrito de desarrollo rural 008, Veracruz, México. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 25(4), 317–323.
- Jurado-Gámez, H., Muñoz-Domínguez, L., Quitiaquez-Montenegro, D., Fajardo-Argoti, C., & Insuasty-Santacruz, E. (2019). Evaluación de la calidad composicional, microbiológica y sanitaria de la leche cruda en el segundo tercio de lactancia en vacas lecheras. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 66(1), 53–66. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v66n1.79402>
- Jurado-Gámez, Henry, Solarte-Portilla, C., Burgos-Arcos, Á., Gonzalez-Rodríguez, A., & Rosero-Galindo, C. (2020). Relación entre la calidad composicional y sanitaria de la leche de bovinos Holstein del trópico alto de Nariño. *Rev Mex Cienc Pecu*, 11(2), 421–434.
- Keller, M. C., Visscher, P. M., & Goddard, M. E. (2011). Quantification of inbreeding due to distant ancestors and its detection using dense single nucleotide polymorphism data. *Genetics*, 189(1), 237–249. <https://doi.org/10.1534/genetics.111.130922>
- Kirin, M., McQuillan, R., Franklin, C. S., Campbell, H., Mckeigue, P. M., & Wilson, J. F. (2010). Genomic runs of homozygosity record population history and consanguinity. *PLoS ONE*, 5(11), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013996>
- Lamb, G. C., & Mercadante, V. R. G. (2014). Selection and Management of the Embryo Recipient Herd for Embryo Transfer. *Bovine Reproduction*, 723–732. <https://doi.org/10.1002/9781118833971.ch78>
- Lima, I. de A., de Azevedo, M., Borges, C. R. de A., Ferreira, M. de A., Guim, A., & de Almeida, G. L. P. (2013). Termorregulação de vacas da raça Girolando no período de verão, no Estado de Pernambuco, Brasil. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 35(2), 193–199. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i2.16591>

- Liu, X. (2016). Generalized linear mixed models on nonlinear longitudinal data. *Methods and Applications of Longitudinal Data Analysis*, 243–279. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801342-7.00008-3>
- MADR. (2012). *Res. 000017 de 2012.pdf*. [https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/d.angie/Res_000017 de 2012.pdf](https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/d.angie/Res_000017_de_2012.pdf)
- Magaña Monforte, J., Rios-Arjona, G., & Martínez-González, J. (2006). Dual purpose cattle production systems and the challenges of the tropics of Mexico. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14(3), 105–114.
- Maicelo, J. L. (2017). Caracterización de los sistemas de producción y formulación de indicadores de adaptabilidad del ganado bovino Simmental- Fleckvieh, región Amazonas Characterization of production systems and formulation of adaptability indicators of Simmental cattle -Fl. 1(1), 19–26. <https://doi.org/10.25127/ricba.201701.002>
- Martínez, R., Llinás, A. P., & M.-Rocha, J. F. (2013). Genetic variability in Blanco Orejinegro breed cattle populations in Colombia. *Genetics and Molecular Research*, 12(2), 1083–1094. <https://doi.org/10.4238/2013.April.10.4>
- Mastrangelo, S., Ciani, E., Ajmone Marsan, P., Bagnato, A., Battaglini, L., Bozzi, R., Carta, A., Catillo, G., Cassandro, M., Casu, S., Ciampolini, R., Crepaldi, P., D'Andrea, M., Di Gerlando, R., Fontanesi, L., Longeri, M., Macciotta, N. P., Mantovani, R., Marletta, D., ... Pilla, F. (2018). Conservation status and historical relatedness of Italian cattle breeds. *Genetics Selection Evolution*, 50(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0406-x>
- Mastrangelo, S., Tolone, M., Ben Jemaa, S., Sottile, G., Di Gerlando, R., Cortés, O., Senczuk, G., Portolano, B., Pilla, F., & Ciani, E. (2020). Refining the genetic structure and relationships of European cattle breeds through meta-analysis of worldwide genomic SNP data, focusing on Italian cattle. *Scientific Reports*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71375-2>
- McManus, C., Teixeira, R. D. A., Dias, L. T., Louvandini, H., & Oliveira, E. M. B. (2008). Características productivas e reprodutivas de vacas Holandesas e mestiças Holandês x no Planalto Central. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(5), 819–823. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000500006>
- Mejia, G., Magaña, J., Segura, J., Delgado, R., & Estrada, R. (2010). Comportamiento reproductivo y productivo de vacas bos indicus, bos taurus y sus cruces en un sistema de producción vaca:cría en Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2), 289–301.
- Mera Andrade, R., Muñoz Espinoza, M., Artieda Rojas, J. R., Ortíz Tirado, P., González Salas, R., & Vega Falcón, V. (2017). Mastitis bovina y su repercusión en la calidad de la leche -. *Revista Electronica de Veterinaria*, 18(11).
- Meuwissen, T., Hayes, B., & Goddard, M. (2013). Accelerating improvement of livestock with genomic selection. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1, 221–237. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103705>

- Meyer, K. (2005). Genetic principal components for live ultrasound scan traits of Angus cattle. *Animal Science*, 81(3), 337–345. <https://doi.org/10.1079/ASC50850337>
- Moreira, H. L., Canova, E. B., Munari, D. P., Bezerra, L. A. F., Lôbo, R. B., & Paz, C. C. P. (2015). Parâmetros genéticos para período de gestação e características de crescimento pré e pós desmame em bovinos Nelore. *Boletim de Indústria Animal*, 72(2), 130–135. <https://doi.org/10.17523/bia.v72n2p130>
- Motta-Delgado, P. A., Rivera-Calderón, L. G., Mariño-Aldana, A., & Penagos, L. C. E. (2012). Desempeño productivo y reproductivo de vacas F1 Gyr x Holstein en clima cálido colombiano. *Veterinaria y Zootecnia*, 6(1), 17–23. <http://vetzootec.ucaldas.edu.co/downloads/v6n1a02.pdf>
- Nandolo, W., Utsunomiya, Y. T., Mészáros, G., Wurzinger, M., Khayadzadeh, N., Torrecilha, R. B. P., Mulindwa, H. A., Gondwe, T. N., Waldmann, P., Ferenčaković, M., Garcia, J. F., Rosen, B. D., Bickhart, D., Van Tassell, C. P., Curik, I., & Sölkner, J. (2018). Misidentification of runs of homozygosity islands in cattle caused by interference with copy number variation or large intermarker distances. *Genetics Selection Evolution*, 50(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0414-x>
- Neogen. (n.d.). *Neogen*.
- Ocaña, A. de. (2018). *alcaldía Ocaña*.
- Ocaña, H., & Alvarado, J. (2017). *Evaluación de los parámetros productivos y reproductivos en vacas doble propósito obtenidas por inseminación artificial y monta natural en la finca el porvenir en Doncello – Caquetá*. 9(1), 25–31.
- Ortega, L., & Ward, R. (2005). El Sistema de Ganadería de Doble Propósito: Un sistema eficiente. In *Facultad de agronomía*.
- Oscar Vergara, G., Luz Botero, A., & Caty Martínez, B. (2009). Factores ambientales que afectan la edad al primer parto y primer intervalo de partos en vacas del sistema doble proposito. *Revista MVZ Cordoba*, 14(1), 1594–1601. <https://doi.org/10.21897/rmvz.368>
- Ossa, G. A., & Suárez, M. A. (2008). Factores ambientales y genéticos que influyen la edad al primer parto y el intervalo entre partos en hembras de la raza criolla Romosinuano. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 8(2), 74–80. https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num2_art:97
- Ossa, G., Abuabara, Y., Pérez García, J. E., & Martínez, G. (2011). El ganado criollo colombiano Costeño con Cuernos (CCC). *Animal Genetic Resources/Ressources Génétiques Animales/Recursos Genéticos Animales*, 48(Ccc), 101–107. <https://doi.org/10.1017/s2078633611000014>
- Ouborg, N. J., Pertoldi, C., Loeschcke, V., Bijlsma, R. K., & Hedrick, P. W. (2010). Conservation genetics in transition to conservation genomics. *Trends in Genetics*, 26(4), 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2010.01.001>

- Oyuela, L. A., & Jiménez, C. (2010). factors that affect pregnancy rates in embryo transfer programs. In *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* (Vol. 57, Issue 3). Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Universidad Nacional de Colombia. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-29522010000300005&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Pamplona, U. de. (2017). *Indicadores socioeconómicos*.
- Peláez, V. (2011). Universidad de Cuenca Facultad de Ciencias Agropecuarias. *Revista de La Facultad de Ciencias Veterinarias*, 48(1), 51–60. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3053/1/mv170.pdf>
- Peralta-Torres, J., Hernández-Hernández, M., López-Segovia, N., Boldo-León, X., Trujillo-Castillo, L., Quiñonez-Díaz, L., Betancur-Ancona, D., Ble-Castillo, J., & Olvera-Hernández, V. (2021). Estudio comparativo de calidad higiénicosanitaria, fisicoquímica y microbiológica de leche bovina en el sureste mexicano. *Revista MVZ Cordoba*, 26(3), 1–8. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2106>
- Pérez-Mora, A., Segura-Correa, J. C., & Peralta-Torres, J. A. (2020). Factors associated with pregnancy rate in fixed-time embryo transfer in cattle under humid-tropical conditions of Mexico. *Animal Reproduction*, 17(2), 1–9. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2020-0007>
- Pérez, E. (2017). *Manual de manejo - Sistemas intensivos sostenibles de ganadería de leche*. <https://bit.ly/2lQKaw9>
- Pinzón, L. M. E. (2016). Evaluación De La Calidad Composicional De La Leche Influenciada Por El Periodo De Transición En Vacas Doble Propósito En Tropicó Bajo Colombiano. In *Universidad De La Salle Facultad De Ciencias Agropecuarias* https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1280&context=medicina_veterinaria
- Pitt, D., Sevane, N., Nicolazzi, E. L., MacHugh, D. E., Park, S. D. E., Colli, L., Martinez, R., Bruford, M. W., & Orozco-terWengel, P. (2019). Domestication of cattle: Two or three events? *Evolutionary Applications*, 12(1), 123–136. <https://doi.org/10.1111/eva.12674>
- Prieto-Manrique, E., Vargas-Sánchez, J. E., Angulo-Arizala, J., & Mahecha-Ledesma, L. (2016). Grasa y ácidos grasos en leche de vacas pastoreando, en cuatro sistemas de producción. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 19. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22816>
- Purfield, D. C., Berry, D. P., McParland, S., & Bradley, D. G. (2012). Runs of homozygosity and population history in cattle. *BMC Genetics*, 13. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-13-70>
- R Core Team. (2021). *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org>
- Ralls, K., Frankham, R., & D Ballou, J. (2013). Inbreeding and Outbreeding. *Encyclopedia of Biodiversity*, 4, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.jopr.2013.06.018>
- Ramírez-pérez, H. A., & Uribe-velásquez, L. F. (2010). Heterosis , otra alternativa en sistemas de producción bovina Heterosis : another alternative for bovine production

systems. *Vetzoo.Umich.Mx*, 4(1), 52–62.

Restrepo, J. (2014). *El doble propósito*.

Reyad, S. (2015). *Epidemiología molecular de la bacteriana mastitis en el ganado vacuno en la provincia de El Oro, Ecuador: Impacto económico y medidas de control*.

Roger Salgado, O., Oscar Vergara, G., & Juan Simanca, S. (2008). Relaciones entre peso, condición corporal y producción de leche en vacas del sistema doble propósito. *Revista MVZ Cordoba*, 13(2), 1360–1364. <https://doi.org/10.21897/rmvz.395>

Román, P. H., Ortega, R. L., Hernández, Aparicio Laura Díaz, A. E., Espinosa, García José Antonio Núñez Hernández, Gregorio Vera, Á. H. R., Medina, C. M., & Ruiz, L. F. de J. (2009). *Producción de leche de bovino en el sistema de doble propósito*.

Rosero Alpala, J. A., Rangel Garcia, W. D., Rojas Barreto, A., & Burgos-Paz, W. O. (2021). Contribución de los datos genómicos en la definición de la composición racial de bovinos doble propósito. *Rev Mex Cienc Pecu*, 12(4), 1008–1024. <https://doi.org/https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i4.5690>

Rothschild, M. F., Hu, Z. L., & Jiang, Z. (2007). Advances in QTL mapping in pigs. *International Journal of Biological Sciences*, 3(3), 192–197. <https://doi.org/10.7150/ijbs.3.192>

Scienski, K., Ialacci, A., Bagnato, A., Reginelli, D., Strillacci, M. G., & Trentacoste, V. (2019). Variabilidad genética en una población de vacas Holstein utilizando marcadores SNP y su uso para monitorear estrategias de apareamiento. *Rev Mex Cienc Pecu*, 10(3), 643–663.

Seidel, G. E. (2010). Brief introduction to whole-genome selection in cattle using single nucleotide polymorphisms. *Reproduction, Fertility and Development*, 22(1), 138–144. <https://doi.org/10.1071/RD09220>

Sieklicki, M. ., Mulim, H. A., Pinto, L. F. ., Valloto, A. ., & Pedrosa, V. . (2020). Population structure and inbreeding of Holstein cattle in southern Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49. <https://doi.org/10.37496/RBZ4920190052>

Signer-Hasler, H., Burren, A., Neuditschko, M., Frischknecht, M., Garrick, D., Stricker, C., Gredler, B., Bapst, B., & Flury, C. (2017). Population structure and genomic inbreeding in nine Swiss dairy cattle populations. *Genetics Selection Evolution*, 49(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12711-017-0358-6>

SIPRA. (2018). *El sistema para la planificación agropecuaria*.

Urdaneta, F. (2009). Mejoramiento de la eficiencia productiva de los sistemas de ganadería bovina de doble propósito (Taurus-Indicus). *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 17(3–4), 109–120.

Urdaneta, F., Peña, M. E., Rincón, R., Romero, J., & Rendón-Ortín, M. (2008). Gestión y tecnología en sistemas ganaderos de doble propósito (Taurus-Indicus). *Revista*

- Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 18(6), 715–724.
- Valencia, M. (2018). *Evaluación de la respuesta a la sincronización del estro en hembras cebú vs hembras con cruces Bos taurus en la región del bajo cauca y alto San Jorge*. Corporación universitaria La Sallista.
- VanRaden, P. M. (2008). Efficient methods to compute genomic predictions. *Journal of Dairy Science*, 91(11), 4414–4423. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0980>
- Vargas Sobrado, D., Murillo Herrera, J., Hueckmann Voss, F., & Romero Zúñiga, J. J. (2017). Valores de la relación grasa/proteína y nitrógeno ureico en leche de vacas lecheras de la zona norte de Alajuela y Heredia, Costa Rica. *Revista Ciencias Veterinarias*, 34(2), 67. <https://doi.org/10.15359/rcv.34-2.1>
- Vasconcelos, J. L. M., Demétrio, D. G. B., Santos, R. M., Chiari, J. R., Rodrigues, C. A., & Filho, O. G. S. (2006). Factors potentially affecting fertility of lactating dairy cow recipients. *Theriogenology*, 65(1), 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.09.030>
- Vásquez, J. F., Loaiza, E. T., & Olivera, M. (2012). Calidad higiénica y sanitaria de leche cruda acopiada en diferentes regiones colombianas. *Orinoquia*, 16(2), 13–23. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092012000200002&lang=es%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/rori/v16n2/v16n2a02.pdf
- Vite, C., Purroy, R., Vilaboa, J., & Severino, V. (2015). Factores genéticos y no genéticos que afectan los índices productivos y reproductivos de vacas doble propósito en la huasteca veracruzana. *Zootecnia Tropical*, 33(4), 337–349.
- Winston, Q. (2018). Somatic cell count (rsc) as an indicator in the resistance of bovine mastitis. *Ciencia, Revista Innovación, Tecnología*, 16, 1001–1012. http://www.scielo.org.bo/pdf/rcti/v16n17/v16n17_a05.pdf
- Yanes-guerra, C., & Cruz-almanza, S. D. La. (2021). Dinámica del precio de la leche en las regiones de Colombia: un análisis de series de tiempo Milk. *Clio América*, 15(29), 581–591.
- Zhu, M., Zhu, B., Wang, Y. H., Wu, Y., Xu, L., Guo, L. P., Yuan, Z. R., Zhang, L. P., Gao, X., Gao, H. J., Xu, S. Z., & Li, J. Y. (2013). Linkage disequilibrium estimation of Chinese beef simmental cattle using high-density SNP panels. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(6), 772–779. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12721>

Capítulo 2: Caracterización fenotípica para características de la leche y peso al nacimiento en una población de ganado multirracial del departamento de Norte de Santander

2.1 Resumen

El ganado multirracial es utilizado en los sistemas de producción doble propósito con la finalidad de obtener carne y leche de manera simultánea, convirtiéndose en uno de los sistemas de mayor presencia en el país. A pesar de esto, los estudios de caracterización de variables productivas en individuos multirraciales son escasos, lo que hace pertinente la realización de análisis que evalúen su potencial. De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este estudio fue caracterizar fenotípicamente una población de ganado multirracial del departamento de Norte de Santander, en cuanto a características de la leche y peso al nacimiento. Se obtuvo información de producción de leche (PL), porcentaje de grasa (PG), porcentaje de proteína (PP) y recuento de células somáticas (RCS) de hembras receptoras de primer parto y peso al nacimiento (PN) de sus crías. Se realizaron controles lecheros (cada quince días aproximadamente) en el ordeño de la mañana a hembras receptoras, realizando hasta un máximo de 4 controles por hembra durante un periodo de 3 a 4 meses. Los semovientes provenían de 12 departamentos de Colombia y fueron entregados a criadores de seis municipios del departamento de Norte de Santander, en el marco de un plan de repoblamiento bovino, enmarcado en un macroproyecto con convenio 00120 titulado "Identificación y análisis de los factores genéticos, nutricionales y sanitarios que afectan los índices de gestación a partir de embriones in vitro en bovinos del departamento de Norte de Santander". Fueron consideradas aquellas hembras que tuvieran información completa relacionada con pasturas a las que tenían acceso, sistema productivo, fecha de nacimiento, fecha de parto, fechas de control, días en leche, condición corporal y datos de

PL, PP, PG y RCS. Para las crías se consideraron aquellas que tuvieran información relacionada con fecha de nacimiento, componente racial, edad de la madre al parto y peso al nacimiento. Toda la información fue depurada y analizada con el uso del programa R. Se calculó la media, desviación estándar y coeficiente de variación para cada una de las características, por factores como municipio, región, tipo de sistema de producción, pasturas, época de nacimiento de la cría, época de control, edad al primer parto (EPP), días en leche (DEL) y condición corporal (CC). Los gráficos para las características de PL, PP, PG y RCS se realizaron utilizando los tres niveles establecidos para EPP y CC a lo largo de la trayectoria de la lactancia. Para el caso del PN se graficó la tendencia de PN con relación a la EPP. Se realizó un análisis multivariado de correspondencia múltiple en el que se relacionaron los factores no genéticos anteriormente mencionados y las variables PL, PP, PG, RCS y PN. Todas las variables cuantitativas a excepción de los DEL (agrupada cada 15 días) fueron categorizadas teniendo como guía los valores de media y desviación estándar obtenidos para cada variable, es decir, que las observaciones que se encontraron por debajo de menos una desviación estándar hicieron parte de la categoría 1, las que estaban entre menos una y una desviación estándar quedaron en la categoría 2 y por último las que estaban por encima de una desviación estándar quedaron en la categoría 3. Los valores medios para todos los controles en las hembras fueron: $3,06 \pm 1,40$ kg/día para PL, $3,21 \pm 0,40$ % para PP, $3,32 \pm 0,77$ % PG, y $356,67 \pm 255,73 \times 10$ cel/ml para RCS y de las crías fue de $30,92 \pm 4,69$ kg para PN. Se encontró asociación de efectos no genéticos con las características de la leche y peso al nacimiento categorizadas (3 categorías por variable). Así pues, hembras con producción de leche de 1 a 2 kg (PL1) se asocia significativamente con los niveles región 1 (R1), verano 1 (V1), condición corporal 2 (CC2), edad al parto 3 (EP3) y sistema semiestabulado (SE). En contraste se encontró que hembras con producción de leche de 2,10 a 3,99 kg /día (PL2) se asocia significativamente con región 2 (R2), pastoreo continuo (PC), grupo 1 (G1), invierno 1 (I1), condición corporal 1 (CC1) y edad al primer parto 2 (EP2). Por su parte, la producción de leche de 4 a 8,3 kg se asocia significativamente con R1, SE y pastoreo rotacional (PR), grupo 3 (G3) e I1. Con relación al porcentaje de proteína de 2,45 a 2,99 % (PP1) hubo asociación significativa con G1. Para porcentaje de proteína de 3 a 3,4 % (PP2) asociación significativa con grupo 2 (G2) y días en leche 60 (60). Mientras que porcentaje de proteína 3,41 a 6,04 % (PP3) tuvo asociación significativa con G3 y días en leche 30 (30) . El

porcentaje de grasa de 1,94 a 3 % (PG1) se asocia significativamente con R1, SE, G3, V1, V2 y 30. Porcentaje de grasa de 3,01 a 4 % (PG2) se asocia significativamente con R2, G1, I1, días en leche 45 (45) y edad al parto 1 (EP1). El porcentaje de grasa de 4 a 4,82 % (PG3) se asocia con región 3 (R3), PC, G2, verano 1 (V1) y días en leche 90 (90). El recuento de células somáticas de 8,00 a 100 x10³ cel/ml (RCS1) se asocia con los niveles R1, R3, SE, V1 y días en leche 105 (105). El recuento de células somáticas de 101 a 499 x10³ cel/ml (RCS 2) se asocia con R2, G1, I1 y 45. El recuento de células somáticas de 500 a 888 x10³ cel/ml (RCS3) se asocia con R2, PR, I1, y EP2. Finalmente, el peso al nacimiento de 35,00 a 45,00 kg (PN3) se asocia con G3. Se evidencio una variación de magnitud media a alta de las características evaluadas en el estudio dentro de la población multirracial, revelando que no hay estándares que permitan unificar el manejo de los animales dentro de los hatos lo que puede afectar la eficiencia de los sistemas doble propósito . A su vez, existen factores no genéticos que pueden incidir sobre la variación de características de la leche y de peso al nacimiento. De esta manera, se esperaría que en los sistemas de producción con presencia de hembras multirraciales y en zonas de trópico alto se implementen pasturas como Kikuyo y Raygrass con adecuados manejos, para obtener producciones de leche y porcentajes de proteína mayores y pesos al nacimiento favorables. Para el caso de zonas con condiciones ambientales de trópico bajo se esperaría que se implementen pasturas como Angleton, Guinea, Estrella, Mombaza y Brachiarias sp, para obtener producciones de leche, porcentajes de proteína en niveles medios y porcentajes de grasa mayores. A su vez, el manejo de estas pasturas, la correcta aplicación de prácticas de higiene y la utilización del sistema semiestabulado, especialmente en época de invierno, puede mitigar el impacto generado por las condiciones propias de cada época sobre la leche y sobre el RCS.

2.2 Introducción

Colombia cuenta con variedad de climas a lo largo de su territorio, dicha situación ha conllevado a que los productores de ganado de carne y leche implementen cruzamientos entre cebú (*Bos primigenius indicus*) con razas especializadas de leche como Holstein, Normando, Pardo suizo (*Bos primigenius taurus*) y en algunas zonas con razas criollas

taurinas, en busca del genotipo mejor adaptado a las condiciones climáticas específicas de cada región. El departamento de Norte de Santander tradicionalmente tiene en su inventario el uso de animales cruzados debido a la presencia de ganaderías doble propósito en su territorio. Sin embargo, en muchos casos la generación de estos cruces es realizada sin tener en cuenta registros (productivos, reproductivos y sanitarios), ni apareamientos dirigidos que puedan generar animales genéticamente superiores y que mantengan la diversidad genética en la población, haciendo difícil la mejora de características de importancia económica en los sistemas de producción.

Los sistemas doble propósito se caracterizan por la obtención de leche y carne, de manera simultánea; sin embargo, los niveles de producción y rentabilidad en este tipo de sistema en Colombia no son los esperados (Alexandra & Isolina, 2011) lo cual implica que el análisis de características relacionadas con el crecimiento, la cantidad y calidad de la leche deban ser realizados, y con base en los resultados, tomar las mejores decisiones en pro de la rentabilidad de los hatos. El peso al nacimiento es la primera medida de crecimiento que puede ser evaluada en los animales y es considerada de gran importancia debido a que está relacionada con la facilidad al parto, que conduce a una rápida involución uterina y por ende, a una más pronta concepción y menor intervalo entre partos (IEP) (Ossa et al., 2011; Pérez, 2017). A su vez, está altamente correlacionado con el peso al destete y con posteriores medidas de crecimiento. Por su parte, la importancia de estudiar características relacionadas con la calidad de la leche radica en que estas se han convertido en una ventaja competitiva esencial para la industria láctea, que a su vez ha marcado de manera directa el precio final de la leche pagada a los productores.

Los productores e investigadores han empezado a reconocer la importancia y necesidad de conservar los recursos genéticos animales, enfocándose en la mejora de parámetros de importancia económica. Para tal propósito, es conveniente caracterizar los factores no genéticos que pueden ser responsables de la variación de las características de peso al nacimiento y de la cantidad y calidad de la leche, a fin de poder separar los efectos no genéticos de los genéticos y garantizar con mayor seguridad que las diferencias que puedan ser encontradas en análisis posteriores sean debidas a la herencia (Ossa & Suárez, 2008). Además, reconocer factores no genéticos que influyen en el desempeño de

los individuos, puede servir para la toma de decisiones a nivel de hato, ya que, conociendo, los factores que más impactan la producción de leche, el ganadero puede tomar medidas pertinentes, brindando la oportunidad a sus animales de producir mayor cantidad de leche con mejor calidad.

Dentro de los factores no genéticos que han sido considerados influyentes en la producción de leche en la primera lactancia, se incluyen parámetros sanitarios, la alimentación, las características de alojamiento (Castillo-Badilla et al., 2019), la finca, el número de parto, el grupo racial y el año de parto (Vite et al., 2015). Para el caso de la calidad composicional y sanitaria de la leche, se ha encontrado que la raza, el periodo de lactancia, la calidad de la ración (Corzo et al., 2018), la rutina de ordeño, el manejo, el sistema de producción, la nutrición y la etapa productiva de los animales (Ainsworth et al., 2012) son factores determinantes en la variación de estas características. Por su parte, para el peso al nacimiento han sido considerados influyentes en la respuesta a esta característica, factores como, método reproductivo, época de nacimiento, año de nacimiento, edad de la madre al parto (Álvarez et al., 2019) y componente racial (Arce et al., 2017).

Existen diversas herramientas con las que se puede conocer el comportamiento de características de interés y los efectos asociados a esta, como el uso de análisis descriptivos hasta estadística inferencial. El análisis exploratorio a través de la obtención de medias, desviaciones y gráficos se convierte en una herramienta que permite entender el comportamiento de factores y si estos pueden o no estar influenciando variables productivas. Por su parte, el análisis de correspondencia es una técnica descriptiva o exploratoria en la que se pueden evaluar dos variables (Análisis de correspondencia simple, ACS) o más variables de interés (Análisis de correspondencia múltiple, ACM), donde se analiza por medio de gráficos y de la prueba de ji cuadrado, relaciones de dependencia o independencia de un conjunto de variables categóricas a partir de datos plasmados en una tabla de contingencia (ACS) o en una tabla disyuntiva completa (ACM). Para tal propósito, se asocia a cada una de las variables de la tabla, un punto en el espacio de forma que las relaciones de cercanía/lejanía (inercia) que se observan entre los puntos calculados manifiesten las relaciones de dependencia y semejanza existentes entre ellas (De la Fuente, 2011). A su vez, es posible determinar por medio del uso de residuos

estandarizados corregidos, si las relaciones de cercanía/lejanía que se observan son significativas (De la Fuente, 2011). De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este capítulo fue caracterizar fenotípicamente una población de ganado multirracial del departamento de Norte de Santander, para características de la leche (producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas) y de crecimiento (peso al nacimiento).

2.3 Materiales y métodos

2.3.1 Población de estudio.

Este estudio contó con el aval del Comité de Ética y Bioética en Investigación de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (CEBI –UFPSO) mediante Acta 001 del 2021. Fueron seleccionadas 840 hembras receptoras mestizas, con edades entre los 2 y 3 años provenientes de varias zonas del país (Antioquia, Boyacá, Caldas, Caquetá, Cesar, Cundinamarca, Magdalena, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca), las cuales fueron trasladadas a un centro de acopio ubicado en el municipio de Puerto Boyacá a una altura de 130 m.s.n.m y una temperatura promedio de 30°C. En este lugar se les aplicó el procedimiento de transferencia con embriones 5/8 Holstein x 3/8 Gyr y 1/2 Holstein x 1/2 Gyr. Durante su estadía en el centro de acopio, las hembras estuvieron bajo pastoreo rotacional con pasturas como; *Brachiaria* sp, *Humidicola* (*Brachiaria humidicola*), *Pará* (*Brachiaria mutica*), *Solana* (*Bothriochloa pertusa*), *Puntero* (*Hyparrhenia rufa*), *Angleton*, (*Dichanthium annulatum*), *Estrella* (*Cynodon plectostachyus*), y *Mombaza* (*Megathyrsus máximus*) y suplementación energética a base de semilla de algodón, palmiste, café, torta de soya, mogolla de trigo, harina de arroz y destilado de maíz. Adicionalmente, se les suministró sal mineralizada con el 6 % de fósforo. Posteriormente, las hembras fueron distribuidas a pequeños y medianos productores de 35 hatos del departamento de Norte de Santander en el marco de un programa de repoblamiento bovino, de las cuales 420 hembras se encontraban preñadas. Los municipios participantes fueron Chinácota, El Tarra, El Zulia y Ocaña (embriones 1/2 Holstein x 1/2 Gyr), Arboledas y Pamplona (embriones 5/8 Holstein x 3/8 Gyr), ubicados a alturas que van desde los 225 hasta los 2700 m.s.n.m, con temperaturas promedio que varían entre los 12°C hasta los 28°C y

precipitaciones que varían entre los 921 y 2128 mm por año. Las pasturas predominantes en esos municipios son: Braquiaria (*Brachiaria decumbens*), Brizantha (*Brachiaria brizantha*), Elefante (*Pennisetum purpureum*), Kinggrass morado (*Pennisetum purpureum x Pennisetum typhoides*), Maralfalfa (*Pennisetum purpureum x Pennisetum glaucum*), Estrella (*Cynodon nlemfuensis*), Guinea (*Megathyrus maximus*), Angleton (*Dichanthium aristatum*) y Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*).

2.3.2 Datos

Se obtuvo información de hembras receptoras de primer parto y sus crías nacidas entre noviembre del 2020 y mayo del 2021. Se realizaron controles lecheros (cada quince días aproximadamente) en el ordeño de la mañana a hembras receptoras, realizando hasta un máximo de 4 controles por hembra durante un periodo de 3 a 4 meses. Las muestras fueron llevadas a un laboratorio certificado para la medición de variables relacionadas con calidad composicional y sanitaria de la leche. En crías se tomó registro de los pesos al nacimiento. Las características consideradas fueron: producción de leche (PL), porcentaje de grasa (PG), porcentaje de proteína (PP), recuento de células somática (RCS) y peso al nacimiento (PN). La PL fue obtenida en base al pesaje realizado en campo durante la toma de la muestra para el control lechero; el PG y PP fueron determinados por el método de espectroscopia infrarroja (método normalizado, ISO 9622, IDF 141; 2013), con intervalos de valores entre 1,93 a 9,06 % (g/100g) y de 2,45 a 6,37 % (g/100g), respectivamente. El RCS fue determinado por el método de citometría de flujo (método normalizado, ISO-13366-2, IDF 148-2; 2006) con intervalos de 8.000 a 10'000.000 células/ml. Finalmente, el PN fue obtenido en base al pesaje de las crías en campo, el cual fue realizado con cinta métrica y báscula. Toda la información fue depurada y analizada con el uso del programa R (R Core Team, 2021). Se eliminó información con registros fuera de lo biológicamente posible, obteniéndose valores de PL entre 1,00 a 8,3 kg/día, PP entre 2,45 a 6,04 %, PG entre 1,94 a 6,0 %, RCS entre 8×10^3 cel/ml a 888×10^3 cel/ml y PN de 20 a 45 kg. De igual manera, para el caso de las hembras receptoras fueron consideradas aquellas que tuvieran información completa relacionada con pasturas a las que tenían acceso, sistema productivo, fecha de nacimiento, fecha de parto, fechas de control, días en leche, condición corporal y datos de PL, PP, PG y RCS. Para las crías se consideraron aquellas que tuvieran

información relacionada con fecha de nacimiento, componente racial, edad de la madre al parto y peso al nacimiento. Con base en esto, la información analizada contó con un total de 584 datos para PL, 644 datos para PP, 197 datos para PG, 517 datos para RCS y 167 datos para PN.

2.3.3 Análisis de datos

Se calculó la media, desviación estándar y coeficiente de variación para cada una de las características, por municipio y por región, donde la región 1 (R1) comprendió los municipios de Arboledas y Pamplona, la región 2 (R2), El Zulia y Chinácota y la región 3 (R3) comprendió a El Tarra y Ocaña. La conformación de las regiones se realizó teniendo en cuenta condiciones climáticas similares y de composición racial de los embriones transferidos.

A su vez, se calculó la media, desviación estándar y coeficiente de variación de las características en función de otros factores no genéticos que se consideraron podían tener influencia sobre las características evaluadas, tales factores fueron: tipo de sistema de producción, pasturas, época de nacimiento de la cría, época de control, edad al primer parto (EPP), días en leche (DEL) y condición corporal (CC).

Las épocas fueron creadas en base a la información de precipitación reportada para los seis municipios evaluados y se agruparon de la siguiente manera; verano 1 (diciembre, enero, febrero y marzo como V1), invierno 1 (abril, mayo y junio, I1), verano 2 (julio y agosto, V2), e invierno 2 (septiembre, octubre, noviembre, I2). Para la época de control (I2) y la época de nacimiento (V2) no se obtuvieron datos en el periodo de evaluación.

Para el caso de los sistemas productivos, se consideraron los siguientes: sistemas productivos bajo pastoreo continuo (PC), sistemas productivos bajo pastoreo rotacional (PR) y sistemas productivos bajo semiestabulación (SE). De igual manera, las pasturas fueron agrupadas ya que se presentaban casos de hembras pastoreando potreros con diversidad de especies forrajeras (Tabla 2-1).

Tabla 0-1: Agrupamiento de pasturas con diversidad de especies forrajeras según disponibilidad forrajera en los potreros.

Grupo	Representación de las pasturas en los Potreros	
Grupo 1 (G1)	Angleton Angleton, Braquipara Angleton, Guinea Guinea Estrella	Guinea, Estrella Braquipara Mombaza Sabana
Grupo 2 (G2)	Brachiaria Brizantha Decumbens Brachiaria, Estrella Brachiaria, Guinea Brachiaria, Sabana Brachiaria, Estrella, Sabana Brizantha, Decumbens	Brizantha, Estrella Brizantha, Decumbens, Estrella Brizantha, Kikuyo, Carretón rojo Decumbens, Estrella Decumbens, Humidicola Decumbens, Mombaza Decumbens, Estrella, Guinea Decumbens, Alemana, Estrella
Grupo 3 (G3)	Kikuyo Kikuyo, Falsa poa Kikuyo, Raygrass	Kikuyo, Falsa poa, Carretón rojo Kikuyo, Falsa poa, Carretón rojo, Raygrass

Las pasturas se relacionan según la presencia de estas en los potreros asignados para las hembras receptoras.

Posteriormente, se realizaron gráficos de tendencias para las variables respuesta con relación a las variables numéricas DEL, EPP y CC. Los gráficos para las características de PL, PP, PG y RCS se realizaron utilizando los tres niveles establecidos para EPP y CC a lo largo de la trayectoria de la lactancia. Para el caso del PN se graficó la tendencia de PN con relación a la EPP.

Se realizó un análisis multivariado de correspondencia múltiple en el que se relacionaron los factores no genéticos anteriormente mencionados y las variables PL, PP, PG, RCS y PN. Para el caso de la EPP y la CC fueron categorizadas en tres niveles y los DEL en siete niveles (Tabla 2-2). Todas las variables cuantitativas a excepción de los DEL (agrupada cada 15 días) fueron categorizadas teniendo como guía los valores de media y desviación estándar obtenidos para cada variable, es decir, que las observaciones que se encontraron por debajo de menos una desviación estándar hicieron parte de la categoría 1, las que estaban entre menos una y una desviación estándar quedaron en la categoría 2 y por último las que estaban por encima de una desviación estándar quedaron en la categoría 3. La categorización de las variables se observa en la Tabla 2-2.

Tabla 0-2: Categorización de las variables cuantitativas para los gráficos de tendencia y el análisis de correspondencia múltiple

Variable	Categoría	Rango
PL (kg)	PL1	1,00 – 2,00
	PL2	2,10 – 3,99
	PL3	4,00 – 8,30
PP (%)	PP1	2,45 – 2,99
	PP2	3,00 – 3,40
	PP3	3,41 – 6,04
PG (%)	PG1	1,94 – 3,00
	PG2	3,01 – 4,00
	PG3	4,01 – 4,82
RCS (x103 cel/ml)	RCS1	8,00 – 100
	RCS2	101 – 499
	RCS3	500 – 888
PN (kg)	PN1	20,00 – 26,00
	PN2	27,00 – 34,00
	PN3	35,00 – 45,00
EPP (meses)	EP1	27,00 – 34,99
	EP2	35,00 – 40,00
	EP3	40,01– 51,00
CC (puntos)	C1	2,50 – 3,00
	C2	3,01 – 3,99
	C3	4,00 – 4,50
DEL (días)	15	1 - 15
	30	16 – 30
	45	31 – 45
	60	46 – 60
	75	61 – 75
	90	76 – 90
	105	91 – 105

PL: producción de leche, PP: porcentaje de proteína, PG: porcentaje de grasa, RCS: Recuento de Células Somáticas, PN: peso al nacimiento, EPP: edad al primer parto, CC: condición corporal, DEL: días en lactancia.

Finalmente, para el análisis de correspondencia fueron estimados los valores de residuos estandarizados corregidos para cada uno de los niveles de los efectos no genéticos evaluados con la siguiente ecuación propuesta por Haberman (1978) (ver Ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

$$r_{ij}^c = \frac{\frac{(n_{ij} - e_{ij})}{\sqrt{e_{ij}}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{i.}}{N}\right)\left(1 - \frac{N_{.j}}{N}\right)}} \approx N(0,1) \quad 2.1$$

Donde, r_{ij}^c ; es el residuo estandarizado corregido, n_{ij} ; es la frecuencia observada, e_{ij} ; es la frecuencia esperada, $N_{i.}$; es la sumatoria de los n_{ij} horizontal, $N_{.j}$; es la sumatoria de los n_{ij} vertical, N ; es la suma de observaciones totales en la población. El cálculo de los residuos se aplica para aquellas variables en los que la H_0 (ambas variables son independientes), sea rechazada con un $p < 0,05$. Además, se debe tener presente que para un nivel de significancia habitualmente adaptado al 5 % los residuos deben ser superiores a 1,96 para denotar exceso de ocurrencias, o inferiores a -1,96 para denotar falta de ocurrencias. Por su parte, para un valor de significancia al 1 % el valor de los residuos debe ser superior a 2,58 o inferior a -2,58 para denotar exceso de ocurrencia o falta de ocurrencia, respectivamente.

2.4 Resultados y discusión

2.4.1 Descripción de características de calidad de la leche y de crecimiento.

En la Tabla 2-3 se presentan las medias y desviaciones estándar generales por municipio y por región de las características evaluadas. Observando que las características presentan de medios a altos valores de desviación estándar, especialmente en la producción de leche y el recuento de células somáticas.

Tabla 0-3: Medias y desviaciones estándar para producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa, recuento de células somáticas y peso al nacimiento de acuerdo con el municipio y la región.

Grupo	PL (kg/día)	PP (%)	PG (%)	RCS (cel/ml)	PN(kg)
General	3,06 ± 1,40	3,21 ± 0,40	3,32 ± 0,77	356,67 ± 255,73	30,92 ± 4,69
Arboledas	2,89 ± 1,53	3,10 ± 0,30	2,87 ± 0,77	193,86 ± 180,83	30,08 ± 4,80
Chinácota	3,66 ± 1,84	3,23 ± 0,41	2,94 ± 0,74	466,52 ± 181,29	30,20 ± 4,34
El Tarra	2,85 ± 1,03	3,28 ± 0,45	3,93 ± 0,78	319,27 ± 308,77	32,07 ± 4,71
El Zulia	2,90 ± 0,85	3,19 ± 0,33	3,48 ± 0,65	427,21 ± 239,82	30,18 ± 4,68
Ocaña	3,23 ± 1,71	3,24 ± 0,55	3,10 ± 0,83	394,07 ± 284,39	31,50 ± 4,09

Pamplona	3,60 ± 2,20	3,34 ± 0,51	2,80 ± 0,62	346,67 ± 256,57	34,92 ± 3,31
Región 1	3,04 ± 1,71	3,19 ± 0,40	2,82 ± 0,67	239,21 ± 216,96	31,41 ± 4,93
Región 2	3,16 ± 1,32	3,20 ± 0,36	3,36 ± 0,70	441,09 ± 221,36	30,19 ± 4,52
Región 3	2,89 ± 1,12	3,27 ± 0,46	3,76 ± 0,84	328,79 ± 305,56	31,97 ± 4,55

PL: producción de leche, PP: porcentaje de proteína, PG: porcentaje de grasa, RCS: recuento de células somáticas, PN: peso al nacimiento, Región 1: municipios Arboledas y Pamplona, Región 2: municipios Chinácota y El Zulia, Región 3: municipios El Tarra y Ocaña con similares condiciones climáticas, de pasturas y de composición racial de los embriones.

- Producción de leche

El valor de media general obtenido para PL en las hembras receptoras de los seis municipios de Norte de Santander fue de $3,06 \pm 1,40$ kg/día (Tabla 2-3) con un coeficiente de variación de 45,85 %. Estos resultados se encuentran dentro de los rangos reportados en un estudio realizado en el Caquetá, con valores que van de 2,06 a 6,18 kg de leche/día para el primer cuarto de lactancia en cruces entre individuos *Bos primigenius taurus* x *Bos primigenius indicus* (Parra et al., 2017). Sin embargo, son inferiores a los encontrados en un estudio realizado en sistemas doble propósito de México donde se reportaron medias de producción diaria de leche según el nivel de tecnificación de los predios, variando de $4,14 \pm 1,23$ kg de leche/día (sistemas tradicionales de subsistencia) hasta $5,57 \pm 2,00$ kg de leche/día (sistemas tecnificados), en una población en la que el 85 % de las hembras correspondía a cruces entre Pardo Suizo x cebuinos y el 15 % restante a cruces variados, el 23,9 % eran vacas lactantes y el 99,2 % de estas hembras eran ordeñadas una vez al día (Juárez-Barrientos et al., 2015). Por otro lado, en un estudio realizado en Caquetá sobre 62 vacas, se reportaron medias de producción de leche diarias entre 7,57 a 7,71 kg/leche por día para animales 50 % Holstein x 50 % Cebú y de 7,83 a 8,58 kg/ de leche día para animales 75 % Holstein x 25 % Cebú (H. Ocaña & Alvarado, 2017). Las diferencias entre los valores referenciados y los encontrados en este estudio pueden estar relacionadas con el desarrollo fisiológico de las hembras, puesto que en este estudio se evaluaron hembras de primer parto las cuales generalmente presentan menor nivel de producción cuando son comparadas con hembras de partos superiores, ya que estas deben disponer gran parte de sus recursos energéticos para finalizar su crecimiento.

En lo referente a la evaluación de producción de leche diaria por municipio (Tabla 2-3), se observan diferencias muy pequeñas, encontrando en el municipio de Pamplona ($3,60 \pm$

2,20 kg) producciones de leche un poco más altas que el resto de los municipios y en El Tarra un poco más bajas ($2.85 \pm 1,03$ kg). De igual manera, en la estimación de medias por regiones, la región 3 (El Tarra y Ocaña) muestra producciones más bajas ($2,890 \pm 1,12$) que las otras dos regiones evaluadas. Estas diferencias pueden estar relacionadas con el manejo diferencial que se presenta entre regiones y por las condiciones edafoclimáticas.

- Porcentaje de proteína

El valor de media general obtenido para PP en las hembras receptoras evaluadas fue de $3,21 \pm 0,40$ % (Tabla **2-3**) con un coeficiente de variación de 12,38 %. Valores similares fueron reportados en un estudio de vacas de sistemas doble propósito con porcentajes de proteína en leche entre 2,9 a 5 % (Pinzon, 2016). Así mismo, en un estudio realizado en empresas ganaderas doble propósito del departamento de Córdoba, se reportaron valores para PP que variaron entre 2,9 y 3,2 % (Durán-Rojas et al., 2020). En otro estudio realizado en vacas doble propósito F1 (*Bos primigenius taurus* x *Bos primigenius indicus*), 75 % Holstein y 75 % Gyr bajo tres suplementos diferentes, se encontraron medias para PP de 3,17 % (tratamiento control), 3,14 % (Sacharina) y 3,09 %, (Solicaña), respectivamente (Jaramillo & Cuervos, 2017), siendo inferiores a las encontradas en este estudio. Por otro lado, en un estudio realizado en ganado Holstein y Normando del departamento de Nariño y en ganado lechero en su mayoría Holstein del departamento de Antioquia, se encontraron valores de medias para PP de $2,9 \pm 0,18$ % (H. Jurado-Gómez et al., 2019) y de 3,17 % (J. E. G. Álvarez, 2015), respectivamente, valores ligeramente más bajos a los encontrados en este estudio. Estas diferencias encontradas entre estudios muestran que es posible obtener buenos valores de proteína en animales multirraciales y que pueden llegar a ser competitivos en esta característica con la ventaja adicional de que son animales que se pueden adaptar a diferentes zonas geográficas. Sin embargo, es importante tener presente que puede haber otros factores determinantes de estas diferencias como el número de animales evaluados, la cantidad de controles realizados, el programa alimenticio de las hembras, el efecto de dilución relacionado con el volumen de producción, etc.

En lo referente a la evaluación para PP por municipio (Tabla **2-3**) se observan diferencias muy pequeñas, encontrando que Pamplona ($3,34 \pm 0,51$ %) muestra PP un poco más altos

que el resto de los municipios y Arboledas un poco más bajas ($3,10 \pm 0,30$ %). De igual manera, al observar las medias relacionadas con las regiones, la región 3 (El Tarra y Ocaña) muestra producciones más altas ($3,27 \pm 0,46$ %) que las otras dos regiones evaluadas. Estas diferencias encontradas pueden estar relacionadas con la edad del animal, la época del año, el estado de salud del animal, problemas de mastitis, componente genético y nutricional y las prácticas de alimentación.

Para el caso específico de las regiones, es posible que las diferencias encontradas también estén relacionadas con el hecho de que la región 3 produjo menores cantidades de leche y se conoce que generalmente animales que producen menor cantidad de leche presentan mayores porcentajes de proteína en leche debido a un efecto de dilución (Vargas Sobrado et al., 2017). Sin embargo, es importante aclarar que esa relación inversa entre PL y PP no se observa en todos los factores evaluados (época de control, pasturas, sistema productivo, etc), lo que puede estar relacionado con la diversidad de componentes raciales en la población. De hecho, en un estudio realizado sobre vacas puras Holstein, Pardo Suizo, Simmental, gris alpino y Pinzgauer no se observó de manera estricta esa relación inversa (Franzoi et al., 2019).

- Porcentaje de grasa

Al igual que otros componentes de la leche, la grasa puede variar en función de diferentes factores ambientales, lo que puede llevar a que comúnmente se encuentre entre el rango de 2,5 a 6,0 % (PINZÓN, 2016). El valor de media general obtenido para PG en las hembras receptoras evaluadas fue de $3,32 \pm 0,77$ % (Tabla 2-3) con un coeficiente de variación de 23,20 %, siendo un valor que se encuentra dentro de los rangos esperados para PG en bovinos (Pinzon, 2016). Sin embargo, el valor de media para PG en este estudio fue menor al reportado en otro estudio en el que se encontraron valores de 4,2 a 5 % de grasa en empresas ganaderas de sistemas doble propósito (Durán-Rojas et al., 2020). A su vez, en un estudio en fincas doble propósito se reportaron valores de PG que variaron de 2,70 a 2,96 % y de 4,40 a 4,99 % (animales en sistemas silvopastoriles) (Prieto-Manrique et al., 2016). Las diferencias encontradas entre estudios pueden estar relacionadas con diferentes factores no genéticos, como el manejo dado a las vacas al

momento del ordeño. Algunos autores han demostrado que vacas que amamantan a sus crías durante el proceso de ordeño presentan menores valores de PG, por lo cual, el PG es mayor en la leche que consumen las crías y menor en la leche que va para venta (Cozma et al., 2013).

En relación con lo encontrado para PG por municipio (Tabla **2-3**) se observan diferencias pequeñas, siendo El Tarra ($3,93 \pm 0,78$ %) el municipio con valores de PG más altos y Pamplona más bajos ($2,80 \pm 0,62$ %). De igual manera, en la estimación de medias por regiones, la región 1 (Pamplona y Arboledas) muestra PG más bajos ($2,82 \pm 0,67$) que las otras dos regiones evaluadas. Al igual que con la proteína para el caso de las regiones se puede evidenciar que la región 1, que fue de las que mayor cantidad de leche produjo, presentó los menores valores de PG y la región 3, que fue la que produjo menor leche, obtuvo mayores PG; esta relación inversa es lo que generalmente se ve en los sistemas de producción debido a un efecto de dilución (Prieto-Manrique et al., 2016) (Vargas Sobrado et al., 2017). No obstante, es importante aclarar que esta relación inversa no fue reflejada en todos los factores evaluados de PG y PP lo que puede estar relacionado con el hecho de que este comportamiento se ajusta más a hatos en los que hay presencia de vacas con altas producciones, donde se aseguran todas las condiciones de manejo y alimentación, puesto que se han mostrado reportes en animales de menor producción, bajo condiciones adversas de manejo donde no se observa dicho comportamiento (Ariza Aya, 2007).

- Recuento de células somáticas

El valor de la media general obtenido para RCS en las hembras receptoras evaluadas fue de $356,67 \pm 255,73 \times 10^3$ cel/ml (Tabla **2-3**) con un coeficiente de variación de 71,7 %; este valor se encuentra dentro de los valores reportados en un estudio para empresas ganaderas doble propósito del caribe colombiano con RCS variando entre 50×10^3 cel/ml y 885×10^3 cel/ml (Durán-Rojas et al., 2020). A su vez, en un estudio en el que se evaluó la calidad higiénica y sanitaria de la leche en diferentes regiones de Colombia, se encontró que los mejores promedios ponderados para RCS se reportaron en zonas de trópico bajo como Puerto Boyacá (354×10^3 cel/ml) y Planeta Rica (373×10^3 cel/ml), donde predominan los sistemas de producción doble propósito (Vásquez et al., 2012). Por su parte, según los

mismos autores, los RCS más altos fueron observados en las zonas de trópico alto como Santa Rosa de Osos (707×10^3 cel/ml) y Yarumal (845×10^3 cel/ml) donde se reportan en su mayoría sistemas de lechería especializada. Sin embargo, en un estudio en Manabí-Ecuador en animales doble propósito se encontraron RCS que variaron de $94,67 \times 10^3$ cel/ml a $311,33 \times 10^3$ cel/ml (Vallejo et al., 2018) siendo valores inferiores a los encontrados en este estudio. Las diferencias encontradas entre estudios pueden estar dadas por diversos factores genéticos y no genéticos. Se ha reportado que dentro de los factores no genéticos que pueden afectar el RCS en leche bovina están la etapa de lactancia, edad al parto, el estrés, el tamaño del hato, la estación del año, la condición corporal, el manejo, el momento de ordeño (Álvarez, 2015; Winston, 2018; Peralta-Torres et al., 2021).

En referencia a lo encontrado para RCS por municipio (Tabla 2-3), se observa que Arboledas ($193,86 \pm 180,83 \times 10^3$ cel/ml) presenta un valor medio de RCS más bajo que el resto de los municipios y Chinácota ($466,52 \pm 181,29 \times 10^3$ cel/ml), presenta los valores de media de RCS más altos. De igual manera, en la estimación de medias por regiones la región 1 (Pamplona y Arboledas) muestra RCS más bajos ($239,21 \pm 216,96 \times 10^3$ cel/ml) que las otras dos regiones evaluadas.

- Peso al nacimiento

Para la característica PN se obtuvo un valor medio de $30,92 \pm 4,69$ kg con un coeficiente de variación de 15,17 % (Tabla 2-3); este valor se encuentra cercano a los valores reportados por otros autores en estudios que evalúan crías (*Bos primigenius taurus* x *Bos primigenius indicus*) con diferente composición racial ($31,66 \pm 5,15$ kg) (Arce et al., 2017), terneras Gyr x Holstein ($32,31$ kg) (Álvarez et al., 2019) y terneras 3/4 Gyr x 1/4 Holstein ($31,56 \pm 5,80$) (Ferreira et al., 2020). También se encontraron medias de PN superiores con valores de $33,65 \pm 5,90$ kg para cruces de 1/2 Gyr x 1/4 Holstein x 1/4 cebú, de $39,08 \pm 7,1$ kg para animales 3/4 Nelore x 1/4 Holstein y de $38,11 \pm 6,5$ kg para animales 3/4 Guzera x 1/4 Holstein (Ferreira et al., 2020). Con relación a lo reportado por municipios y región es posible observar que Pamplona ($34,92 \pm 3,31$ kg) y El Tarra ($32,07 \pm 4,71$ kg) presentaron las medias de PN más altas al ser comparados con los otros municipios. De igual manera, la Región 1 y 3 presentaron valores de medias para PN mayores con valores

de $31,41 \pm 4,93$ kg y $31,97 \pm 4,55$, respectivamente. Las diferencias encontradas entre y dentro de estudios están determinadas por diversidad de factores tales como la composición racial, manejos diferenciados entre hatos, la alimentación recibida por las hembras receptoras durante su periodo de gestación y la edad de la hembra al momento del parto.

Los coeficientes de variación (CV) encontrados para PL (45,85 %), PP (12,38 %), PG (23,20 %), RCS (71,52 %) y PN (15,17 %) muestran que existe una variación de magnitud media a alta en estas características dentro de la población multirracial revelando que no hay estándares que permitan unificar el manejo de los animales dentro de los hatos lo que puede afectar la eficiencia de los sistemas doble propósito. Se han reportado CV medios a altos con valores de 36,3 %, 40,6 % y 61,8 % para PL en hembras con diferente composición racial (Salamanca & Bentez, 2012). Para PP y PG se han reportado valores de CV bajos con valores de 5,07 % y 10,23 %, respectivamente, para bovinos de doble propósito, siendo mucho más bajos que los encontrados en este estudio (Vallejo et al., 2018). Con relación al RCS se han reportado CV altos con valores de 72,02 % en bovinos puros (Franzoi et al., 2019). Por su parte, el PN tuvo valores de CV superiores a los reportados en estudios de la raza BON (11,06 %) (Londoño, 2020) y Brahman (10,6 %) (Bedoya et al., 2019) e inferiores a los reportados en bovinos Romosinuano (18,08 %) (Ramírez Valverde et al., 2018).

2.4.2 Descripción de factores no genéticos que se espera están relacionados con la variabilidad de características de calidad de la leche y de peso al nacimiento

Además de la zona geográfica en la que se encuentran las receptoras y las crías, existen otros factores no genéticos que pueden influenciar las características PL, PP, PG y RCS de las hembras y el PN de las crías. De ahí la importancia de ser evaluados detenidamente. Algunos de estos factores son: tipo de sistema de producción, tipo de alimentación, época de nacimiento y época en la que se realiza el control lechero, componente racial, edad al primer parto, condición corporal y días en leche.

▪ Tipo de sistema de producción y alimentación

Los sistemas de producción se han definido como un conjunto de plantas y animales que bajo un suelo o clima dados, son manejados por el hombre a través de técnicas y herramientas que permitan obtener un producto deseado (Guapi Guamán et al., 2017). Esta definición implica que el sistema en el cual se encuentran los animales es determinante para las características evaluadas en este estudio. En la Tabla 2-4 se pueden observar los valores de media y desviaciones estándar encontrados para cada una de las características evaluadas según el sistema productivo y la alimentación.

Tabla 0-4: Medias y desviaciones estándar para producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa, recuento de células somáticas y peso al nacimiento de acuerdo con el tipo de sistema productivo y alimentación.

	Grupo	PL(kg/día)	PP (%)	PG (%)	RCS (x10 ³ cel/ml)	PN (kg)
Sistema	SE	3,14 ± 1,64	3,16 ± 0,33	2,91 ± 0,77	257,38 ± 227,44	30,05 ± 4,16
	PC	2,89 ± 1,16	3,21 ± 0,39	3,51 ± 0,73	366,58 ± 264,73	30,61 ± 4,80
	PR	3,30 ± 1,54	3,25 ± 0,44	3,19 ± 0,75	416,42 ± 241,15	32,08 ± 4,78
Pasturas	G1	2,77 ± 1,04	3,17 ± 0,34	3,29 ± 0,65	374,77 ± 225,39	29,76 ± 3,68
	G2	3,12 ± 1,41	3,20 ± 0,39	3,45 ± 0,81	351,86 ± 265,47	30,78 ± 4,86
	G3	3,60 ± 2,20	3,34 ± 0,51	2,80 ± 0,62	346,67 ± 256,57	34,93 ± 3,31

PL: producción de leche, PP: porcentaje de proteína, PG: porcentaje de grasa, RCS: recuento de células somáticas, PN: peso al nacimiento, SE: semiestabulado, PC: pastoreo continuo, PR: pastoreo rotacional, G1-G3: tipos de pasturas (revisar Tabla 2-1)

El pastoreo rotacional (PR) presentó las medias de PL, PP y PN más altas, lo cual puede deberse a que en los sistemas de PR se realiza un mejor manejo de los forrajes teniendo en cuenta periodos de ocupación y descanso adecuados que evitan la degradación de las pasturas, permitiendo que los animales pastoreen forrajes de mejor calidad (Terán, 2014). Sin embargo, para el caso de PG se puede observar un valor de media mayor para pastoreo continuo (PC); esta situación puede atribuirse a la relación inversa que existe entre la cantidad de leche y PG que generalmente se ve en los sistemas de producción y que es debido a un efecto de dilución (Prieto-Manrique et al., 2016). El RCS promedio fue menor en el sistema semiestabulado (SE) comparado con PC y PR, lo cual puede estar relacionado con el hecho de que en el SE el manejo de los animales es mucho más controlado, facilitando que sea posible por parte de los productores identificar situaciones que pueden afectar la salud de la ubre del animal y corregirlo a tiempo. Otra situación que

se puede observar y resaltar está relacionada con las diferencias presentes en las medias obtenidas de PL para animales en PR y SE, ya que se esperaría que animales bajo confinamiento parcial donde se les protege de las horas más calurosas y en los que se les da pasto de corte tuvieran mejores PL; sin embargo, las hembras en PR tenían en potrero pasturas de mejor calidad en comparación con hembras en SE (Naranjo et al; 2023); adicionalmente, al 68,5 % de las hembras evaluadas bajo PR se les suministraba pasto de corte. De igual manera, es importante resaltar que la relación inversa en la que, a mayor PL se esperaría menor PG y PP, no se refleja en todos los casos como se ha mencionado anteriormente.

La alimentación es un factor importante que afecta la producción de leche de las vacas, ya que parte de la producción está determinada por procesos fisiológicos que requieren gasto de energía. Por tal razón, las vacas deben ser alimentadas de acuerdo a sus requerimientos nutricionales, teniendo en cuenta además el peso vivo, el nivel de producción y el momento de lactancia de las vacas (Edward, 2013). En el análisis realizado se encontró que las vacas del G3 presentaron una media mayor para PL, PP y PN en comparación con las vacas del G1 y G2, y a su vez, las vacas del G2 presentaron una media mayor de PL, PP, PG, y PN respecto a las vacas del G1 (Tabla 2-4). La diferencia encontrada puede estar marcada por la presencia de ciertas especies forrajeras que son encontradas normalmente en sistemas de lechería especializada como lo son el kikuyo sp. y el raygrass sp. siendo congruente con la caracterización generalizada de los pastos de trópico alto que presentan mayor valor nutricional, reflejado en mayor proteína y digestibilidad, que los pastos de trópico bajo (Sossa & Barahona, 2015).

En el estudio realizado por Naranjo et al (2023) para evaluar la composición bromatológica de los pastos presentes en los municipios participantes en este proyecto, se encontró que la especie kikuyo (pasto del G3) presentó los mayores contenidos de proteína cruda, seguido por estrella, braquiaria, brizantha, decumbens (pastos mayormente representados en el G2), angleton y guinea (pastos mayormente representados en el G1), lo cual se traduce en mejores parámetros productivos en las hembras bajo sistemas de alimentación con especies forrajeras de mayor contenido de proteína cruda. Por otro lado, potreros con la presencia de raygrass sp. implican mayores producciones de leche en las hembras,

como fue evidenciado en un estudio de Castro-Rincón et al. (2019), quienes evaluaron tres cultivares de Raygrass. A su vez, algunos investigadores sugieren que el incremento de la oferta forrajera permite a los animales seleccionar fracciones de forraje con mayor digestibilidad, lo que con lleva a un aumento en la tasa de paso del alimento, el consumo de materia seca y la producción de leche (Jesús et al., 2018). Por otro lado, se ha mencionado que el nivel de proteína presente en dietas preparto, puede afectar la eficiencia del crecimiento en las crías durante el periodo de gestación (Macor et al., 2020).

- Época de nacimiento y control

Las épocas conllevan una serie de acontecimientos meteorológicos que son expresados en tiempos definidos a lo largo del año. Para la época de control, el I1 presentó valores de medias mayores para PL y PG, mientras que el V1 mostró bajos RCS en coherencia con menor presencia de encharcamientos donde es común las infecciones de glándula mamaria por causas ambientales. Por su parte, el PN presentó mejores valores promedio en la época nacimiento V1.

Parte de las diferencias encontradas pueden estar determinadas por las condiciones climáticas propias de cada época; así en las épocas secas o de verano se presenta una reducción en la calidad y cantidad de forraje y además el metabolismo de los animales se ve afectado debido a las temperaturas altas, mientras que en la época de invierno o lluviosa se presentan condiciones favorables en las que se da un incremento en la producción de forrajes y los animales no están expuestos al estrés calórico (Mejia et al., 2010). Sin embargo, el impacto generado por las condiciones propias de cada época puede ser mitigado si se administra adecuadamente la alimentación, basándose en el manejo de las pasturas o en el uso de sistemas de conservación como son la henificación y el ensilaje. De igual manera, es posible observar (Tabla 2-5) que en la época de invierno (I1) se presentaron los valores más altos de RCS; esto puede deberse a que en esta época usualmente se generan condiciones adversas relacionadas con la acumulación de barro en algunas zonas del potrero y caminos, que junto con la aplicación de malas prácticas de higiene, implican un aumento del RCS (Rodríguez et al., 2015).

Tabla 0-5: Medias y desviaciones estándar para producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa, recuento de células somáticas y peso al nacimiento de acuerdo con época de nacimiento y de control.

	Grupo	PL (kg/día)	PP (%)	PG (%)	RCS (x103cel/ml)	PN(kg)
Época control o nacimiento	V1	2,77 ± 1,18	3,21 ± 0,41	3,25 ± 1,01	245,09 ± 252,82	31,16 ± 4,83
	V2	3,12 ± 1,46	3,13 ± 0,25	1,94 ± 0,01	434,60 ± 220,10	NA
	I1	3,44 ± 1,57	3,21 ± 0,39	3,38 ± 0,67	492,14 ± 185,23	30,89 ± 4,38
	I2	NA	NA	NA	NA	27,15 ± 2,34

PL: producción de leche, PP: porcentaje de proteína, PG: porcentaje de grasa, RCS: recuento de células somáticas, PN: peso al nacimiento, V1: verano 1, V2: verano 2, I1: invierno 1, I2: invierno 2.

Es importante resaltar que las desviaciones estándar observadas en PL, PP, PG y RCS son altas independientemente del factor que sea evaluado. Esta situación está relacionada con lo encontrado anteriormente respecto al CV e implica de igual manera que los sistemas productivos doble propósito no sean eficientes, debido a que se presentan vacas con muy buenos parámetros productivos y vacas con parámetros muy bajos, lo que hace difícil determinar el manejo adecuado para la producción. Basados en estos datos, es posible buscar estrategias, para que una vez identificados los factores que más influencia tienen sobre las características de interés económico en estos sistemas de producción, el productor pueda tomar medidas pertinentes en caso de que un animal se vea afectado por factores no genéticos con la finalidad de mejorar y estandarizar los parámetros productivos en estos animales.

- **Componente racial de la cría**

El componente racial ha sido determinante en la respuesta de diferentes características de interés productivo en los hatos. Se encontró una media de PN de $30,71 \pm 4,59$ kg y de $31,41 \pm 4,92$ kg para los componentes raciales 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, respectivamente. Observándose que el componente racial 5/8 Holstein x 3/8 Gyr presenta un valor de media numérico mayor que el componente racial 1/2 Holstein x 1/2 Gyr, siendo consecuente con lo encontrado en un estudio en hatos doble propósito con cruces de Holstein por Cebú donde se observó que entre el componente racial 37,5 % - 50 % y 62,5 % - 75 % Holstein, hubo mayor media de PN para el componente con mayor proporción de Holstein (Arce et al., 2017). Por otro lado, la media de PN de crías cruzadas

mostró superioridad sobre la media de PN de crías puras en un estudio realizado de cruces de Gyr, Holstein y Nelore (Ferreira et al., 2020). Generalmente, crías Holstein x Gyr con mayor componente racial de Holstein presentan pesos al nacimiento superiores, debido a que la raza Holstein se caracteriza por tener un mayor tamaño y peso.

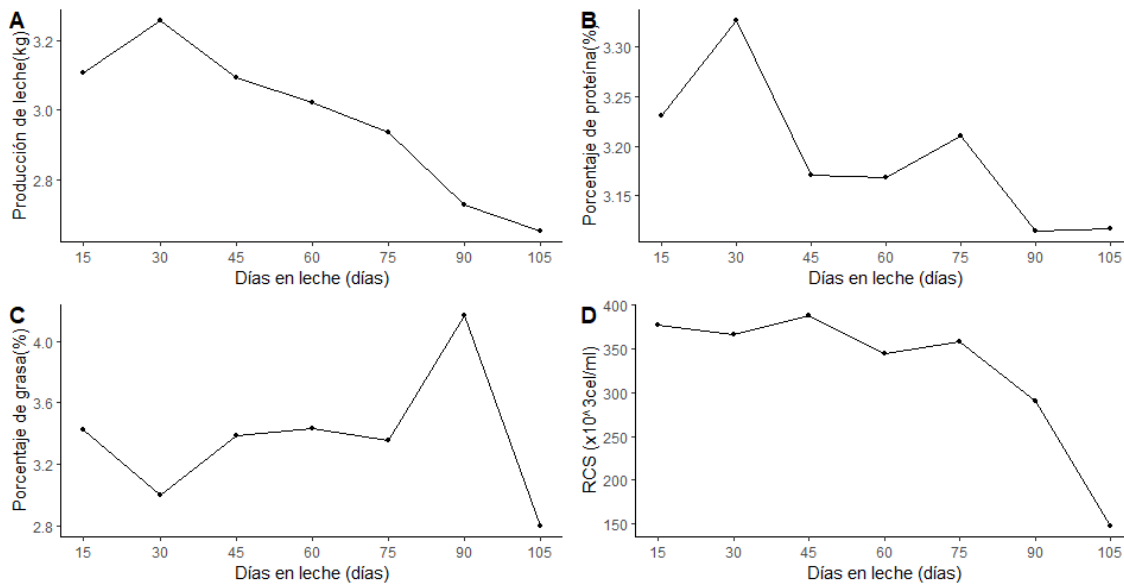
- Días en leche, condición corporal y edad al primer parto

La covariable días en lactancia (DEL) hace relación al tiempo que lleva una vaca produciendo leche permitiendo así determinar el comportamiento productivo de la misma y de sus componentes. Los DEL evaluados estuvieron entre 15 y 105 días, lo cual corresponde a un periodo de lactación media. A su vez, en la Figura 2-1 se ve una tendencia en la que a medida que los días en leche aumentan, la PL (Figura 2-1 A), PP (Figura 2-1 B) y RCS (Figura 2-1 D) disminuyen. Sin embargo, el PG (Figura 2-1 C) aumenta teniendo su pico máximo a los 90 días. Varios autores han reportado que la forma de la curva para los PP y PG siguen una relación inversa a la curva de PL (Cañas et al., 2011; Madrid et al., 2020; Silvestre et al., 2009). Con lo cual, durante los primeros días relacionados con la producción de calostro, los componentes sólidos de la leche son altos pero caen rápidamente en la misma proporción que la PL aumenta; hacia el último tercio de la lactación los sólidos vuelven a ser significativos (Silvestre et al., 2009). Sin embargo, este comportamiento ha sido comúnmente reportado para animales de alta producción, donde se aseguran todas las condiciones de manejo y alimentación. Para el caso de animales en condiciones de manejo menos controladas, se han reportado curvas de lactancia menos pronunciadas e incluso lineales, con caída de la producción inmediatamente o después de pasar los primeros días de lactancia (Rodríguez et al., 2015).

Para el RCS, se puede evidenciar una caída drástica luego de los 75 días de lactancia. Con relación a esto Álvarez, (2015) menciona que el RCS es alto en las dos primeras semanas de lactancia; decrece durante la lactancia media y aumenta al final de esta. De la misma manera, Mendoza-Sánchez et al., (2009) evidenciaron en búfalas que la media del RCS en el primer mes de lactancia fue de 108.000 ± 234.000 células/ml, disminuyó en el segundo, tercero y cuarto mes (91.000 ± 227.000 células/ml) y aumento progresivamente hasta el noveno mes de la lactancia (103.000 ± 197.000 células/ml). Dicha

situación presenta un comportamiento similar al evidenciado en este estudio para las hembras receptoras, en las que se encontró que en el primer mes de lactancia el promedio de RCS fue de 372.210 cel/ml y disminuyó en el segundo y tercer mes de lactancia (305.923 cel/ml).

Figura 2-1: Producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas de acuerdo con los días en lactancia.

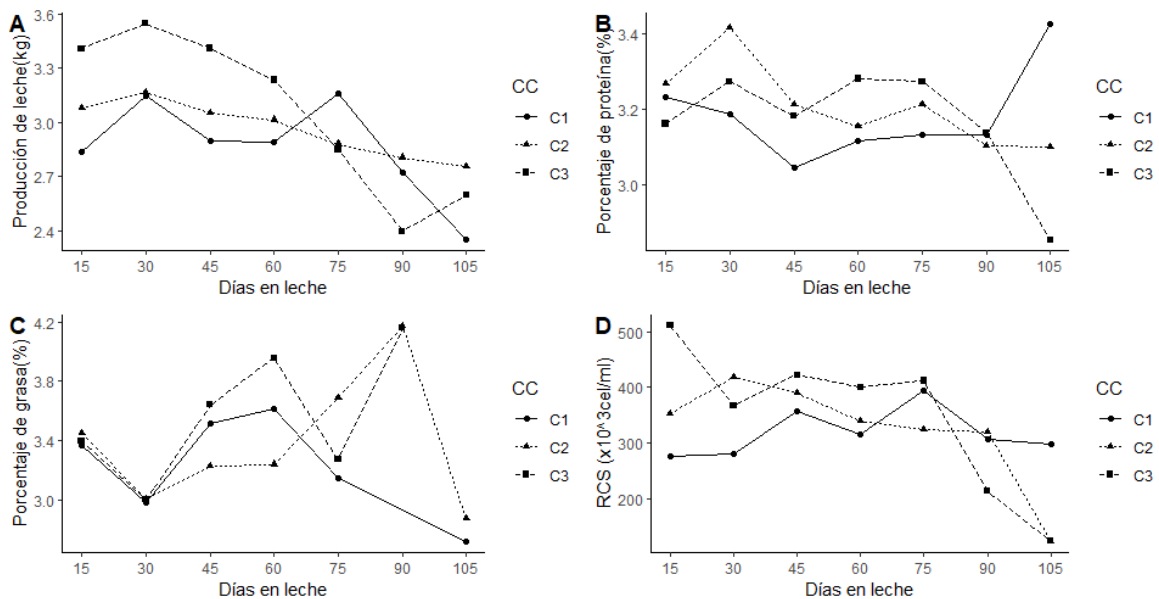


Por su parte, la condición corporal (CC) se relaciona con la cantidad de grasa y músculo que cubre a un animal y en el caso de las hembras es un indicador de las reservas de energía útil para enfrentar las altas demandas que implican la producción de leche (Guerra et al., 2020). En relación con lo anterior, las variables de cantidad y calidad de la leche son dependientes de la condición corporal presente en un animal. Es posible observar en la Figura 2-2 que hay hembras con CC por debajo y por encima de los valores adecuados para la etapa de producción en la que se encuentran. Como es mencionado en un estudio de producción de leche bovina en sistemas doble propósito para lactaciones tempranas (hasta un mes), se habla de una condición corporal de 2,5 a 3 y para lactaciones medias (uno a tres meses) y tardías (tres a seis meses) de una condición corporal de 3 (Román et al., 2009). Salirse de estos valores adecuados puede suponer diversos problemas metabólicos y productivos. De esta manera, tener animales en lactancia temprana con

buena CC, pero baja producción de leche puede indicar que existen problemas de proteína en la dieta, agua y minerales. A su vez, animales en lactancia media con $CC < 3$ implican que hay inadecuado consumo de energía, mientras que animales con $CC > 3$ muestran posibles excesos de energía en dieta. Finalmente, con animales en lactancia tardía se debe prestar atención en la preparación del animal para la siguiente lactación evitando la sobre-condición; este periodo es de suma importancia para establecer la CC al secado (Román et al., 2009).

En la Figura 2-2 se puede observar la relación entre PL (Figura 2-2 A), PP (Figura 2-2 B), PG (Figura 2-2 C) y RCS (Figura 2-2 D) con los DEL discriminado por la CC.

Figura 2-2: Producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas de acuerdo la condición corporal a lo largo de la trayectoria de la lactancia.



CC; condición corporal, C1; condición corporal 1 (2,5 - 3,0), C2; condición corporal 2 (3,01 – 3,99) y C3; condición corporal 3 (4,0 – 4,5)

Para el caso de la PL es posible observar que la curva para individuos de categoría C3, presentó el valor mayor para PL a los 30 días de lactancia y posteriormente mostró una caída hasta los 105 días de lactancia. Por su parte, la curva de individuos categoría C2 no

presentó mayores variaciones y la curva con individuos C1 presentó dos picos marcados a los 30 días y 75 días de lactancia. De igual manera, es posible observar que para el PP se logra ver un comportamiento contrario en producción entre hembras de la categoría C2 y C3 vs hembras de la categoría C1. Evidenciando en menores valores para PP desde el día 30 a 90 en hembras de categoría C1. Con relación al PG, se observan picos marcados de aumento y disminución de esta característica a lo largo de la lactancia; y se evidencia que las hembras de la categoría C1 empiezan a disminuir el PG en leche desde el día 60 hasta el día 105. En general, para las variables de calidad composicional de la leche, el PP presentó curvas un poco más homogéneas que las representadas para el PG a lo largo de la lactancia. Esto puede estar relacionado con el hecho de que la grasa es un parámetro mucho más sensible que la proteína, con relación a la calidad y consumo de forraje (Baéz et al., 2015).

Finalmente, las curvas para el RCS disminuyeron para hembras con C2 y C3 a lo largo del periodo de lactancia evaluado. A su vez, los valores de RCS fueron mayores en hembras con C2 y C3 hasta los 60 días en leche lo que puede estar relacionado con lo expuesto por Breen et al. (2009), quienes encontraron que existe un mayor riesgo de presentar RCS superiores a 199000 cel/ml en vacas que presentan una CC inferior a 1,5 o superior a 3,5 comparado con otras CC, lo que sugiere que esto se debió a un estado nutricional desequilibrado que pudo haber disminuido la eficiencia a la respuesta inmunitaria en los animales. De igual manera, Van straten et al. (2009), encontraron que animales con balance energético negativo en inicios de la lactancia (evidenciado en una alta pérdida de peso), se asocian con una inadecuada salud de la ubre; la posible explicación dada por los autores para este hallazgo se basó en que las defensas de primera línea de la ubre involucradas en la eliminación temprana de bacterias invasoras podrían verse afectadas, llevando una falla duradera para contener o erradicar la infección. Por otro lado, estudios realizados han demostrado que hembras con baja CC (1,5 en una escala de 1-5) al parto tienden a perder menos puntos de condición corporal, debido a que incrementan en menor tiempo el consumo de materia seca, permitiéndoles mantener e incrementar la PL. Por su parte hembras con CC alta (>3,0), pierden mucho más rápido dicha condición corporal acarreando problemas reproductivos y nutricionales (Castro Alvarez et al., 2018).

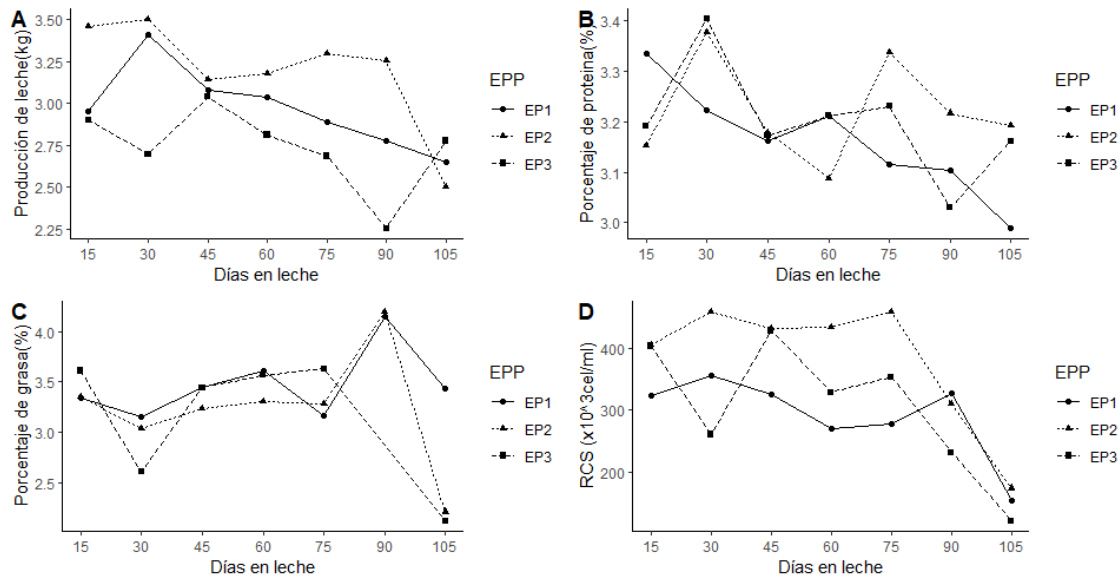
La última covariable estudiada, edad al primer parto, mide las condiciones de manejo, alimentación y crecimiento a las que son sometidos los animales en etapas tempranas. De esta manera, una edad precoz al primer parto se traduce en una vida útil más prolongada y por ende a un mayor número de descendientes, lo que redundaría en mayor beneficio económico del sistema (Ossa & Suárez, 2008). Por otro lado, algunos autores indican que dentro de los principales efectos no genéticos que afectan la producción de leche y sus componentes se encuentran aquellos causados por el ciclo de vida del animal como la edad y el número de parto de la vaca (Guerra et al., 2019). A su vez, se puede observar que la EP1 tuvo un comportamiento más homogéneo con las variables PL (Figura 2-3 A), PP (Figura 2-3 B), PG (Figura 2-3 C) y RCS (Figura 2-3 D). También es posible observar que las hembras de mayor edad al parto y las más jóvenes presentaron menores producciones de leche que hembras de mediana edad.

En un estudio realizado en vaquillonas lecheras mestizas de primera lactancia se observó que la EPP no tuvo ninguna influencia en la producción láctea durante los 100 días pospartos (Hidalgo Bravo & Vera Rodríguez, 2019). Sin embargo, otro estudio realizado en vacas Holstein en el que se evaluó el efecto de la edad al primer parto en la producción de leche, encontró que vacas que parieron entre los 20 y 21 meses produjeron menos leche durante toda su lactancia, mientras que las vacas que parieron entre 22 y 36 meses de edad produjeron cantidades similares de leche (Emmanuel Sessarego et al., 2019).

Para el RCS, se evidenció un comportamiento en el que hembras de mayor edad al parto (EP2 y EP3) presentaron mayores valores de RCS que hembras que parieron más jóvenes, lo cual está relacionado no solo con la edad, sino con el aumento de episodios de infecciones por efectos mecánicos como laceraciones o infecciones ambientales que van aumentando a lo largo de la vida de la vaca (Werner, 2014); situación conforme a lo reportado en un estudio de vacas Holstein cruzadas en el que se encontró que vacas longevas presentaron una mayor tendencia a contraer infecciones (Andrade et al., 2010). Por otro lado, Persson Waller et al. (2020) evaluaron la salud de la ubre en vacas lecheras primíparas en el periodo de lactancia temprana encontrando que el riesgo de presentar alto RCS es mayor en vacas con edades al primer parto mayores. Consecuentemente, Bludau et al. 2014 encontraron que una mayor proporción de vacas primíparas que parían

a una edad > 37 meses tenían RCS $\geq 100,000$ células/mL en el primer día de prueba que las vacas que parían a una edad más joven, aunque esta variable no se incluyó en el modelo final.

Figura 2-3: Producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas de acuerdo con la edad al primer parto.

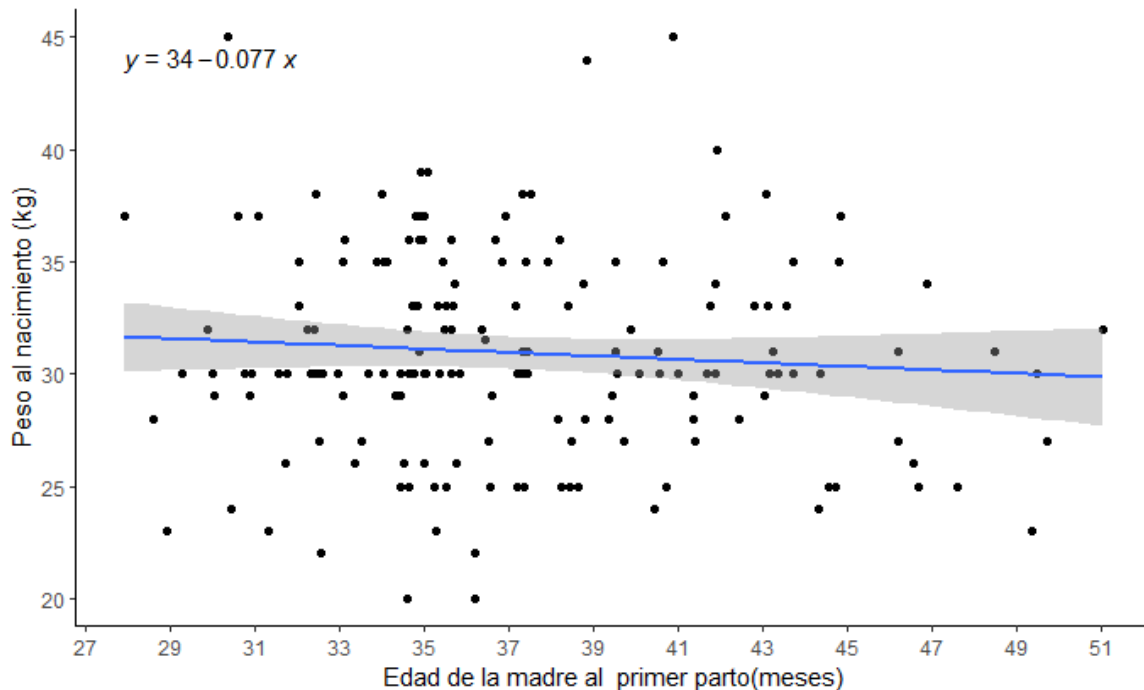


EPP; edad al primer parto, EP1; edad al primer parto 1 ($\leq 34,99$ meses), EP2; edad al primer parto 2 (35 – 40 meses), EP3; edad al primer parto 3 ($\geq 40,01$)

Adicionalmente, la edad de la madre al primer parto ha sido considerada influyente en la respuesta de PN. En la Figura 2-4 es posible observar que existe una tendencia negativa muy pequeña entre la relación de peso al nacimiento y la edad de la madre al primer parto. Observándose como edad mínima 27 meses y como edad máxima 51 meses. De igual manera, la media de edad al primer parto para las vacas evaluadas fue de $37,29 \pm 4,84$ meses siendo menor a lo reportado en otro estudio con animales doble propósito de trópico bajo en la que se encontró una media de $38,9 \pm 3,9$ meses (Oscar Vergara et al., 2009) y mayor a lo reportado en un estudio de vaquillonas lecheras con media de $36,96 \pm 0,10$ meses (Hidalgo Bravo & Vera Rodríguez, 2019). Por otro lado, estudios realizados han mostrado que el PN aumenta hasta que las vacas alcanzan una edad de 8,6 años de edad, para posteriormente decrecer (Chin Colli et al., 2012). Por su parte, en otro estudio relacionado con animales de producción cárnica se encontró que los PN más bajos se presentaron en crías de vacas que aún estaban en crecimiento (3 años) o vacas con

detrimento fisiológico (11 años o más) en comparación con vacas de edades intermedias (5 y 6 años) (Pacheco et al., 2013).

Figura 2-4: Peso al nacimiento de acuerdo con la edad al primer parto de la madre



2.4.3 Análisis de asociación entre factores no genéticos y las características de la leche y el peso al nacimiento por medio de análisis de correspondencia múltiple.

El análisis de correspondencia múltiple tiene como objetivo principal analizar, desde un punto de vista gráfico, las relaciones de dependencia e independencia de un conjunto de variables categóricas. Aunque los gráficos de análisis de correspondencia múltiple dan una visión de lo que ocurre entre cada uno de los niveles representados, se presentan situaciones donde se hace difícil observar entre que niveles hay realmente asociaciones significativas; para estos casos es útil el uso de los residuos estandarizados corregidos, los cuales indican que niveles contribuyen en mayor grado al valor del estadístico de prueba. Los valores relacionados con la explicación de las dimensiones 1 y 2 para el análisis de correspondencia múltiple se muestran en la Tabla 2-6. Debido a que los valores

arrojados para las dimensiones 3 en adelante mostraron valores por debajo del 10 % de explicación de la variabilidad contenida en los datos, no se tuvieron en cuenta y no se muestran.

Tabla 0-6: Inercias principales (Eigenvalores) y porcentajes de explicación para las dimensiones 1 y 2 en el análisis relacionado con las características de cantidad y calidad de la leche y peso al nacimiento.

Variable	Dim	Eigenvalor	% explicación	% acumulado
PL	1	0,033	36,5	36,5
	2	0,020	21,4	58,0
PP	1	0,025	29,3	29,3
	2	0,022	26,0	55,2
PG	1	0,058	39,8	39,8
	2	0,036	25,1	64,9
RCS	1	0,035	35,7	35,7
	2	0,021	21,9	57,6
PN	1	0,039	35,4	35,4
	2	0,019	17,2	52,6

PL: producción de leche, PP: porcentaje de proteína, PG: porcentaje de grasa, RCS: recuento de células somáticas, PN: peso al nacimiento.

En la Tabla 2-6 se puede observar que con las dimensiones 1 y 2 se logró explicar un porcentaje de inercia del 58,0 %, 55,2 %, 64,9 %, 57,6 % y 52,6 % para los análisis relacionados con PL, PP, PG, RCS, y PN, respectivamente. Estos valores indican que las dependencias observadas son explicadas correctamente por las dos primeras dimensiones, es decir, que en el caso de PL entre la dimensión 1 y 2 se explica el 58,0 % de la variación total.

Por otro lado, por medio de los gráficos de correspondencia múltiple (mapa perceptual), se observó la relación existente entre los diferentes niveles para producción de leche, (Figura 2-5 A), porcentaje de proteína (Figura 2-5 B), porcentaje de grasa (Figura 2-5 C), recuento de células somáticas (Figura 2-5 D) y peso al nacimiento (Figura 2-6), con los niveles de factores no genéticos, que posteriormente fueron verificados por el análisis de residuos estandarizados.

Figura 2-5: Análisis de correspondencia múltiple para producción de leche (A), porcentaje de proteína (B), porcentaje de grasa (C) y recuento de células somáticas (D) respecto a los efectos no genéticos.

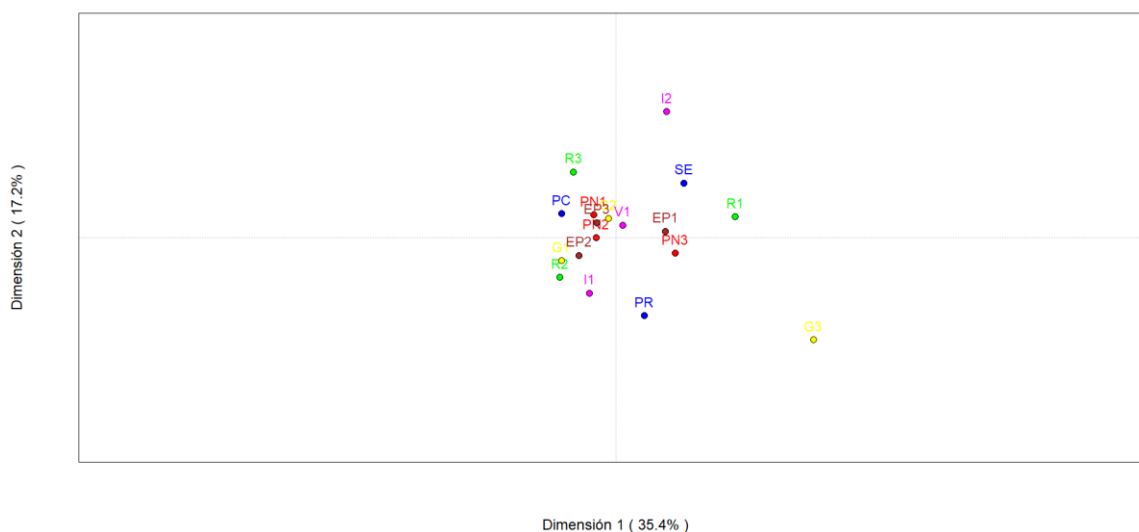


PL: producción de leche, PP: porcentaje de proteína, PG: porcentaje de grasa, RCS: recuento de células somáticas, R1: región 1, R2: región 2, R3: región 3, PC: pastoreo continuo, PR: pastoreo rotacional, SE: semiestabulado, I1: invierno 1, V1: verano 1, V2: verano 2, 15-105: días en leche, C1: condición corporal 1, C2: condición corporal 2, C3: condición corporal 3, EP1: edad al parto 1, EP2: edad al parto 2, EP3: edad al parto 3. G1: grupo 1 de pastura, G2: grupo 2 de pastura, G3: grupo 3 de pastura.

A través de los gráficos, se puede observar el grado de inercia, bajo o alto, para cada uno de los niveles. Cuando se habla de una inercia baja, significa que todos los niveles

observados están situados muy cerca al centro de gravedad o centroide lo que implica que son niveles muy similares y que poca explicación está dando en cuanto a asociación entre niveles de diferentes factores. Por su parte, valores altos de inercia implican de manera contraria que los niveles están muy alejados del centro de gravedad y que por tanto, presentan grandes diferencias (De la Fuente, 2011). De esta manera, es posible observar que los niveles G3, R3, R1, 90 y 105 (Figura 2-5 A - D), SE (Figura 2-5 A, B, D), PG3 (Figura 2-5 C) y RCS1 (Figura 2-5 D) son los que mayor inercia muestran. Por su parte, en la Figura 2-6 se observa el espacio asignado en el análisis de correspondencia a los niveles de PN y los niveles de los factores no genéticos, encontrándose que la mayor inercia fue explicada por los niveles G3 y R1, I2 y PR.

Figura 2-6: Análisis de correspondencia múltiple para el peso al nacimiento respecto a los efectos no genéticos.



PN: Peso al nacimiento, R1: región 1, R2: región 2, R3: región 3, PC: pastoreo continuo, PR: pastoreo rotacional, SE: semiestabulado, I1: invierno 1, V1: verano 1, V2: verano 2, EP1: edad al parto 1, EP2: edad al parto 2, EP3: edad al parto 3. G1: grupo 1 de pastura, G2: grupo 2 de pastura, G3: grupo 3 de pastura (para los pastos revisar Tabla 2-1).

En la Tabla 2-7 se representan los residuos estandarizados corregidos para cada uno de los niveles de las variables PL, PP, PG y RCS con relación a los niveles de los efectos no genéticos.

Tabla 0-7: Asociación entre los niveles de PL, PP, PG, RCS y niveles de efectos no genéticos (residuos estandarizados).

Nivel	PL			PP			PG			RCS		
	PL1	PL2	PL3	PP1	PP2	PP3	PG1	PG2	PG3	RCS1	RCS2	RCS3
R1	3,96	-5,93	2,48	--	--	--	4,16	-0,97	-3,51	5,01	-0,72	-4,14
R2	-4,89	6,37	-1,98	--	--	--	-2,68	4,51	-2,47	-6,77	3,43	2,70
R3	1,57	-1,20	-0,32	--	--	--	-0,98	-4,89	7,07	2,66	-3,39	1,33
PC	-0,58	4,14	-4,06	--	--	--	-2,90	-0,38	3,74	0,27	-0,02	-0,24
PR	-1,74	-0,33	2,23	--	--	--	1,54	0,68	-2,57	-3,09	0,70	2,26
SE	2,54	-4,53	2,42	--	--	--	2,24	-0,47	-1,96	3,06	-0,74	-2,18
G1	-0,39	2,98	-2,95	2,41	-2,30	-0,01	-0,56	3,08	-3,13	-2,38	3,66	-1,94
G2	0,21	-0,96	0,87	-0,97	2,25	-1,62	-2,07	-1,99	4,76	1,85	-2,82	1,47
G3	0,30	-3,46	3,59	-1,65	-0,35	2,40	3,82	-1,25	-2,78	0,48	-0,79	0,45
I1	-6,34	3,86	2,40	--	--	--	-3,61	6,74	-4,14	-9,16	4,72	3,58
V1	6,50	-4,05	-2,36	--	--	--	2,43	-6,19	4,80	9,83	-4,86	-4,07
V2	-0,61	0,63	-0,06	--	--	--	3,38	-2,16	-1,18	-2,16	0,52	1,54
15	--	--	--	0,36	-0,48	0,16	-1,08	0,06	1,15	1,53	-1,87	0,68
30	--	--	--	-2,94	0,48	2,90	3,53	-2,31	-1,17	-1,13	0,79	0,19
45	--	--	--	1,88	-1,42	-0,48	-1,65	2,87	-1,64	-2,39	2,06	-0,04
60	--	--	--	0,06	1,96	-2,50	-0,61	0,05	0,63	1,06	-1,53	0,75
75	--	--	--	-0,08	-0,45	0,66	-0,06	-0,43	0,59	-1,07	1,29	-0,44
90	--	--	--	0,03	0,81	-1,03	-1,17	-1,67	3,35	-0,78	1,33	-0,80
105	--	--	--	1,47	-1,22	-0,24	0,83	0,09	-1,05	4,81	-2,77	-1,53
C1	-1,46	3,05	-1,90	--	--	--	--	--	--	--	--	--
C2	3,01	-3,40	0,63	--	--	--	--	--	--	--	--	--
C3	-2,14	0,98	1,17	--	--	--	--	--	--	--	--	--
EP1	0,53	-0,45	-0,05	--	--	--	-1,58	2,88	-1,72	1,82	1,55	-3,64
EP2	-3,18	2,19	0,92	--	--	--	1,85	-2,51	-0,26	-2,06	-1,79	4,16
EP3	2,79	-1,82	-0,92	--	--	--	-1,72	0,96	0,75	0,24	0,23	-0,52

PL: producción de leche, PP: porcentaje de proteína, PG: porcentaje de grasa, RCS: recuento de células Somáticas, R1: región 1, R2: región 2, R3: región 3, PC: pastoreo continuo, PR: pastoreo rotacional, SE: semiestabulado, I1: invierno 1, V1: verano 1, V2: verano 2, 15-105: días en leche, C1: condición corporal 1, C2: Condición corporal 2, C3: condición corporal 3, EP1: edad al parto 1, EP2: edad al parto 2, EP3: edad al parto 3. G1: Grupo 1 de pastura, G2: Grupo 2 de pastura, G3: Grupo 3 de pastura. En rojo se observan valores con falta de ocurrencia. En azul se observan valores con exceso de ocurrencia y con -- se observan los casos en los que no se rechazó H_0 por lo cual no es necesario evaluar los residuales estandarizados. Para un nivel de significancia al 1 % los residuos deben ser superiores a 2,58 o inferiores a -2,58 y para un nivel de significancia al 5 % superiores a 1,96 o inferiores a -1,96 para indicar cuando hay exceso o falta de ocurrencia.

Los análisis realizados permiten evidenciar la asociación entre los niveles de efectos no genéticos y las características de estudio. En la Tabla **2-7** es posible observar que existen valores de residuos estandarizados corregidos que muestran tanto exceso (valores azules) como falta de ocurrencia (valores rojos). Los resultados serán mencionados teniendo en cuenta los excesos de ocurrencia. De esta manera, para el caso de la producción de leche (PL) es posible afirmar que cuando se evalúa la región 1, el sistema estabulado, el verano 1, la condición corporal 2 y las edades altas al parto, la producción de leche es baja. Que cuando se evalúa la región 2, el pastoreo continuo, las pasturas del G1, la época de invierno 1, la condición corporal 1 y edades al parto medias, se presentan producciones de leche media y que al evaluar la región 1, el sistema estabulado y rotacional, las pasturas del G3 y la época de invierno 1 se presentan producciones de leche altas.

Por su parte, para el porcentaje de proteína se puede afirmar que al evaluar las pasturas del G1 se presentan porcentajes de proteína bajos, que al evaluar pasturas del G2 y lactancias cercanas a los dos meses se presentan porcentajes de proteína medios y finalmente con pasturas del G3 y lactancias cercanas al primer mes se presentan porcentajes de proteína altos. Con relación al porcentaje de grasa es posible afirmar que con la región 1, el sistema estabulado, las pasturas del G3, las épocas de verano 1 y 2 y lactancias cercanas al primer mes se presentan porcentajes de grasa bajos, que con la región 2, las pasturas del G1, la época de invierno 1, las lactaciones cercanas al mes y medio y la edad al parto más jóvenes se presentan porcentajes de grasa medios y que la región 3, el pastoreo continuo, las pasturas del G2, la época de verano 1 y las lactaciones cercanas a los tres meses presentan porcentajes de grasa altos.

El recuento de células somáticas (RCS) muestra que es posible afirmar que cuando se tiene la región 1, la región 3, el sistema semiestabulado, la época de verano 1 y lactancias cercanas a los tres meses y medio se tienen bajos recuentos de células somáticas (RCS1), que la región 2, las pasturas del G1, la época de invierno 1 y lactancias cercanas al mes y medio se presentan recuentos de células somáticas medios (RCS2) y que la región 2, el pastoreo rotacional, la época de invierno 1 y edad al parto intermedias se presentan altos recuentos de células somáticas (RCS3). Por último, para el caso peso al nacimiento (PN) únicamente se encontró exceso de ocurrencia para uno de los niveles relacionado con el

tipo de pasturas utilizadas; de esta manera se encontró un valor de residuo estandarizado corregido de 3,44 para lo que se puede afirmar con un valor $p < 0,01$, que peso al nacimiento alto están asociados con pasturas pertenecientes al G3.

Uno de los patrones más llamativos en este análisis está relacionado con lo encontrado para el efecto no genético de época de control representada por los niveles I1, V1, en donde se puede observar que cuando hay una alta ocurrencia de cierto nivel en una época, este mismo nivel es bajo en la otra. Por ejemplo, se encontraron valores medios a altos de producción de leche y de recuento de células somáticas relacionados con la época de invierno (I1), mientras que valores bajos de leche y de recuento de células somáticas se relacionan con épocas de verano (V1). Por su parte, el porcentaje de grasa bajos (PG1) y de grasa alto (PG3) presentaron asociación con la época de verano (V1). Lo anterior, es consecuente con lo reportado por Anzures-Olvera et al. (2015) en un estudio realizado en vacas Holstein, quienes encontraron que los promedios de producción de leche fueron mayores en época de invierno, mientras que los recuento de células somáticas, porcentaje de grasa y proteína fueron mayores en época de verano. En un estudio realizado sobre leche cruda en Sucre los autores no encontraron diferencias entre los porcentajes de proteína y grasa en época de invierno y verano (M. M. Martínez & Gómez, 2013).

Las pasturas G3 mostraron estar asociadas con altos niveles de producción de leche (PL3) y de proteína (PP3); sin embargo, están relacionadas con bajos porcentajes de grasa (PG1). Pasturas G1 mostraron estar asociadas con niveles de leche medio (PL2), porcentajes de proteína bajos (PP1) y porcentajes de grasa medio (PG2). Se ha mencionado que los pastos de trópico bajo (Angleton, pangola y Brachiarias) son más ricos en energía y por tanto, el suplemento que se debe dar a los animales debe ser rico en proteína, mientras que, los pastos de trópico alto como Kikuyo, Raygrass y azul orchoro tienen mayores contenidos de proteína siendo necesario suplementar con productos altamente energéticos (Leal, 2017). Sin embargo, la necesidad de suplementar depende del manejo agronómico de las pasturas. De esta manera, Correa et al. (2008) encontraron que el nivel de energía promedio presente en los pastos Kikuyo de Antioquia es suficiente para cubrir las demandas de ENL de una vaca con un peso de 550 kg produciendo 11,23 litros de leche con 3,5 % de grasa. Sin embargo, Sossa & Barahona., (2015.) consideran

que el Kikuyo presenta varias limitantes nutricionales, que no solo afectan la producción de leche, sino que también afectan la calidad composicional de la misma.

En un estudio realizado en Brasil con el uso de análisis estadístico multivariado en variables de calidad de la leche, se encontró asociación entre producción de leche, edad de la vaca, el periodo de lactación y el estado de salud de la glándula mamaria (Navarro et al., 2021). De acuerdo con Souza et al. (2010) la edad de la vaca y el recuento de células somáticas son unos de los efectos que tienen mayor afectación en la producción de leche, lo cual también pudo ser observado en este estudio en el que hembras jóvenes (EP1) no se relacionan con recuentos de células altas (RCS3), mientras que hembras de edad mediana (EP2) presentan asociación con recuentos de células somáticas altas (RCS3). Adicionalmente, hembras con edad tardía al parto (EP3) presentan asociación con producciones de leche bajas (PL1).

La condición corporal ha sido relacionada con la producción de leche en diversos estudios. Para este caso se puede observar que animales en condición corporal más baja (C1) se asocian con producciones de leche medias, mientras que animales de condición corporal media (C2) se asocian con producciones bajas. Algunos autores como Pryce et al. (2001) han mencionado que vacas con mayor potencial de producción lechera presentan menor condición corporal y mayor tendencia a perder condición al inicio de la lactancia que vacas de menor producción. En este mismo sentido, Cherobin et al. (2019) encontraron que animales con condición corporal más baja presentaron producciones de leche más altas que aquellos que tenían mayor condición corporal.

2.5 Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que existe una variación de mediana a alta magnitud en las características incluidas en este estudio dentro de la población multirracial evaluada, permitiendo observar que no hay estándares que ayuden a unificar el manejo de los animales dentro de los hatos y consecuentemente puede afectar la eficiencia de los sistemas doble propósito. Adicionalmente, y de acuerdo con el bajo nivel de producción promedio encontrado para estas características, se evidencia la presencia

de vacas con muy bajos niveles productivos que hacen que posiblemente la rentabilidad de los hatos sea baja.

A partir del análisis de caracterización fenotípica realizado, se muestra que existen factores no genéticos que pueden incidir sobre la variación de características de la leche y de peso al nacimiento. Todos estos factores no genéticos pueden ser controlados, algunos de manera directa y otros de forma indirecta. De esta manera, se esperaría que en los sistemas de producción con presencia de hembras multirraciales y en zonas de trópico alto se implementen pasturas como Kikuyo y Raygrass con adecuados manejos, para obtener producciones de leche y porcentajes de proteína mayores y pesos al nacimiento favorables. Para el caso de zonas con condiciones ambientales de trópico bajo se esperaría que se implementen pasturas como Angleton, Guinea, Estrella, Mombaza y *Brachiarias* sp, para obtener producciones de leche, porcentajes de proteína en niveles medios y porcentajes de grasa mayores. El manejo de estas pasturas, la correcta aplicación de prácticas de higiene y la selección del sistema semiestabulado, especialmente en época de invierno, puede mitigar el impacto generado por las condiciones propias de cada época sobre la leche y sobre el RCS. Por otro lado, novillas con edades al primer parto jóvenes conllevan a producciones de leche y porcentajes de proteína medio en comparación a hembras con edades tardías al primer parto. De igual manera, hembras con condición corporal entre 2,5 a 3,00 permiten mejores producciones de leche que hembras con condición corporal entre 3,01 a 3,99.

2.6 Bibliografía

- Ainsworth, J. A. W., Moe, S. R., & Skarpe, C. (2012). Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 155, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.04.005>
- Alexandra, E., & Isolina, M. (2011). Control de gestión en unidades de producción de ganadería de doble propósito. *Revista Visión Gerencial*, 0(2), 325–340.
- Álvarez, C., Heras, J., Vargas, O., & Sanchez, A. (2019). Influencia de dos métodos biotecnológico reproductivo sobre el peso al nacimiento y del manejo al destete de terneras Gyrolando. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(2), 119–124.

<http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.916>

- Álvarez, J. E. G. (2015). Comparación de los indicadores productivos porcentaje de grasa, porcentaje de proteína, recuento de células somáticas (RCS), nitrógeno ureico en leche (MUN) y producción en litros de leche bovina de fincas pertenecientes a las microcuencas del norte y. In *Corporación Universitaria Lasallista Facultad* (Issue c).
- Andrade, B. R., Pulido, M. M., & Molano, P. D. (2010). Efecto del amamantamiento restringido en los conteos de células somáticas en vacas holstein cruzadas. *Revista MVZ Cordoba*, 15(2), 2095–2101. <https://doi.org/10.21897/rmvz.320>
- Anzures-Olvera, F., Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Correa-Calderón, A., Díaz-Molina, R., Hernández-Rivera, J. A., & Avendaño-Reyes, L. (2015). Efecto de época del año (verano vs. invierno) en variables fisiológicas, producción de leche y capacidad antioxidante de vacas Holstein en una zona árida del noroeste de México. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 20, 15–20. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84938092633&partnerID=MN8TOARS>
- Arce, C., Aranda, E., Osorio, M., Gonzáles, R., Díaz, P., & Hinojosa, J. (2017). Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en un hato de doble propósito en Tabasco, México Productive and reproductive parameters in dual-purpose Zebu x Holstein cattle in Tabasco, Mexico. *Rev Mex Cienc Pecu*, 8(1), 83–91. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4347>
- Baéz, R., Barrón, A., Granados, Z., Quiroz, V., & Purata, A. (2015). Factores asociados a la calidad físico-química de la leche en sistemas bovinos de doble propósito, en ranchos del Mezcalapa. In *VII Reunión Científica Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2015 IV Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical*.
- Bludau, M. J., Maeschli, A., Leiber, F., Steiner, A., & Klocke, P. (2014). Mastitis in dairy heifers: Prevalence and risk factors. *Veterinary Journal*, 202(3), 566–572. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.09.021>
- Breen, J. E., Bradley, A. J., & Green, M. J. (2009). Quarter and cow risk factors associated with a somatic cell count greater than 199,000 cells per milliliter in united Kingdom dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3106–3115. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1562>
- Cañas, J., Cerón-Muñoz, M., & Corrales, J. (2011). Modeling the lactation curves for milk, fat and protein yield of Holstein cattle in Antioquia, Colombia. *Revista MVZ Cordoba*, 16(2), 2514–2520. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1015>
- Castillo-Badilla, G., Vargas-Leitón, B., Hueckmann-Voss, F., & Romero-Zúñiga, J. J. (2019). Factors that affect the production in first lactation of dairy cattle of Costa Rica. *Agronomy Mesoamerican*, 30(1), 209–227. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.33430>
- Castro-rincón, E., Cardona-iglesias, J. L., Hernández-oviedo, F., & Avellaneda-avellaneda, V. Y. (2019). Evaluación de tres cultivares de *Lolium perenne* L. con vacas lecheras,

- en el trópico alto de Nariño-Colombia. *Pastos y Forrajes*, 42(2), 161–170.
- Castro Alvarez, D. J., García Salas, M. E. C., Rodríguez Franco, G., & Ruiz Figueroa, E. (2018). Condición corporal y su relación con la producción de leche y el número de servicios por preñez en vacas Holstein. *Anales Científicos*, 79(2), 473. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.1258>
- Cherobin, V. C., Garzón, J. P. P., Alvarado, J. P. M., & Marini, P. R. (2019). Condición corporal y su relación con producción láctea, reproducción y perfil metabólico en vacas lecheras del trópico boliviano. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 30(1), 107–118. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i1.14459>
- Chin Colli, R. C., Magaña Monforte, J. G., Segura Correa, J. C., & Núñez Domínguez, R. (2012). Factores ambientales y proporción racial que influyen en el peso al nacimiento, al destete y edad al primer parto en Bovinos Suizo pardo en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(1), 55–60.
- Correa, J., Carulla, J., & Pabón, M. (2008). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.). *Livestock Research For Rural Development*, 20(4), 7. <https://www.researchgate.net/publication/266316988>
- Corzo, M., Caballero, L., & Rivera, M. (2018). Factores que influyen en la composición y calidad microbiológica de la leche cruda almacenada en un centro de acopio. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 16(2), 86–106.
- Cozma, A., Martin, B., Guiadeur, M., Pradel, P., Tixier, E., & Ferlay, A. (2013). Influence of calf presence during milking on yield, composition, fatty acid profile and lipolytic system of milk in Prim'Holstein and Salers cow breeds. *Dairy Science and Technology*, 93(1), 99–113. <https://doi.org/10.1007/s13594-012-0094-1>
- De la Fuente, F. . (2011). Análisis de Correspondencias simples y múltiples. In *Fac. Ciencias Económicas y Empresariales*.
- Durán-Rojas, E., Calderón-Rangel, A., & Ramírez-Montoya, J. (2020). Clasificación de empresas ganaderas doble propósito por calidad y canales de comercialización de la leche en el Caribe colombiano. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1358>
- Edward, V. de villa. (2013). Vacunos Bajo Pastoreo Semi-Intensivo. *Sistemas de Revisiones En Investigacion Veterinaria de San Marcos*, 1–11.
- Emmanuel Sessarego, D., Juan Chávez, C., Alberto Barrón, L., Angel Vásquez, R., & Manuel López, C. (2019). Edad al primer parto y productividad lechera del ganado bovino Holstein en la costa central del Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 30(4), 1603–1610. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17153>
- Ferreira, H., Mendes, J., Da Cunha Siqueira, C., Aparecida, E., Sávio, D., Antunes, M., Martins, P., & Silva, M. (2020). Desempenho de bezerros de corte de diferentes composições genéticas produtos de rebanho leiteiro. *J. of Develop*, 6(1), 39893–

39908.

- Franzoi, M., Niero, G., Visentin, G., Penasa, M., Cassandro, M., & de Marchi, M. (2019). Variation of detailed protein composition of cow milk predicted from a large database of mid-infrared spectra. *Animals*, 9(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ani9040176>
- Guapi Guamán, R. A., Masaquiza Moposita, D., & Curbelo Rodríguez, L. (2017). Caracterización de Sistemas Productivos Lecheros en Condiciones de Montaña, Parroquia Químiag, Provincia Chimborazo, Ecuador. *Revista de Producción Animal*, 29(2), 1–11.
- Guerra, R., Menéndez, A., & Hernández, A. (2019). Influencia de factores ambientales en la producción de leche de dos rebaños holstein en la cuenca lechera de Chiriquí. *Investigaciones Agropecuarias*, 2(2644–3856).
- Guerra, V. A., Orcid, D., Quintero, L., Zootecnista, T., Orcid, D., Guti, M. Q., Jos, M., & Estudiante, P. (2020). Medición de la condición corporal del ganado cebú Body condition measurement of zebu cattle. In *ECAMPA EWorking papers*. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.3672>
- Hidalgo Bravo, G. A., & Vera Rodríguez, J. H. (2019). Edad al primer servicio y al parto sobre producción láctea en primera lactación en vaquillonas lecheras. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 11(2), 721. <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n2.2019.721>
- Jaramillo, O., & Cuervos, Wi. (2017). Evaluación productiva y composicional de la leche en vacas doble propósito, alimentadas con dos suplementos alimenticios a base de caña de azúcar procesada. *Revista Gestión y Región*, 24, 75–92.
- Jesús, J. De, Martínez, V., Milena, A., Alarcón, S., Augusto, E., & El, A. Y. (2018). El kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 13(2), 137–156. <https://doi.org/10.21615/4558>
- Juárez-Barrientos, J. M., Herman-Lara, E., Soto-Estrada, A., Ávalos-de la Cruz, D. A., Vilaboa-Arroniz, J., & Díaz-Rivera, P. (2015). Tipificación de sistemas de doble propósito para producción de leche en el distrito de desarrollo rural 008, Veracruz, México. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 25(4), 317–323.
- Jurado-Gómez, H., Muñoz-Domínguez, L., Quitiaquez-Montenegro, D., Fajardo-Argoti, C., & Insuasty-Santacruz, E. (2019). Evaluación de la calidad composicional, microbiológica y sanitaria de la leche cruda en el segundo tercio de lactancia en vacas lecheras. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 66(1), 53–66. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v66n1.79402>
- Leal, B. (2017). Análisis De Los Factores Internos En La Producción De Leche En Trópico Alto Y Bajo En Colombia. *Ciencia Unisalle*, 1–29. http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/28436/11062033_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Londoño, M. (2020). *Evaluación genética, evaluación genómica y búsqueda de regiones del genoma en ganado Blanco Orejinegro asociadas a características productivas*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78201/1035831972.2020.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Macor, L., Bocco, O. A., Giovini, J., Coniglio, M. V., & Ortiz, M. E. (2020). Efectos de altos niveles de proteína en el último tercio de la gestación sobre el crecimiento postnatal de la progenie en bovinos para carne. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 28(1–2), 1–7. <https://doi.org/10.53588/alpa281201>
- Madrid, A., Calvo, S., & Arismendy, J. (2020). Modelación de la curva de producción, grasa y proteína en ganado Holstein y Jersey del Norte y Oriente de Antioquia. *Revista Universidad Católica de Oriente*, 31(46), 70–84.
- Martínez, M. M., & Gómez, C. A. (2013). Calidad Composicional E Higiénica De La Leche Cruda Recibida En Industrias Lácteas De Sucre, Colombia. *Biología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 93–10.
- Mejía, G., Magaña, J., Segura, J., Delgado, R., & Estrada, R. (2010). Comportamiento reproductivo y productivo de vacas *Bos indicus*, *Bos taurus* y sus cruces en un sistema de producción vaca:cría en Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2), 289–301.
- Mendoza-Sánchez, G., Tonhati, H., Cerón-Muñoz, M. F., Aspilcueta-Borquis, R. R., & Rodríguez Martínez, G. (2009). Factores ambientales que afectan el recuento de células somáticas en leche de búfalos (*Bubalus bubalis*). *Revista de Medicina Veterinaria*, 18, 11–20. <https://doi.org/10.19052/mv.1172>
- Naranjo-Guerrero, L. F. ., Rodríguez-Colorado, N. ., & Uron-Castro, C. A. (2023). Caracterización bromatológica de pastos en seis municipios del Departamento de Norte de Santander; Colombia. *Scientia Et Technica*, 27(4), 245–252. <https://doi.org/10.22517/23447214.24725>
- Navarro, R. ., Bánkuti, F. ., dos Santos, F. ., Almeida, R., Dias, A. ., Ferrereira, C. C. ., Ítavo, L. C. ., Ramos, C. E. C. ., & Dos Santos, G. . (2021). A multivariate statistical analysis of milk yield and quality in intensive dairy production systems in Paraná state, Brazil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, 1–11.
- O, C. B., C, J. Á., R, C. E., Sc, M., & C, S. C. (2019). Evaluación genética para características de peso en ganado Brahman comercial. *Revista MVZ Córdoba*, 24(2), 7225–7230.
- Ocaña, H., & Alvarado, J. (2017). Evaluación de los parámetros productivos y reproductivos en vacas doble propósito obtenidas por inseminación artificial y monta natural en la finca el porvenir en Doncello, caquetá. 9(1), 25–31.
- Oscar Vergara, G., Luz Botero, A., & Caty Martínez, B. (2009). Factores ambientales que afectan la edad al primer parto y primer intervalo de partos en vacas del sistema doble propósito. *Revista MVZ Cordoba*, 14(1), 1594–1601.

<https://doi.org/10.21897/rmvz.368>

- Ossa, G. A., & Suárez, M. A. (2008). Factores ambientales y genéticos que influyen la edad al primer parto y el intervalo entre partos en hembras de la raza criolla Romosinuano. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 8(2), 74–80. https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num2_art:97
- Ossa, G., Abuabara, Y., Pérez García, J. E., & Martínez, G. (2011). El ganado criollo colombiano Costeño con Cuernos (CCC). *Animal Genetic Resources/Ressources Génétiques Animales/Recursos Genéticos Animales*, 48(Ccc), 101–107. <https://doi.org/10.1017/s2078633611000014>
- Pacheco, F., Depablos, L., Martinez, G., & Vargas, D. (2013). Factores no Genéticos y de Grupo racial que afectan el peso al nacer en un sistema de producción con Vacunos de carne. *Rev.Fac.Cs.Vets*, 54(1), 35–45.
- Persson Waller, K., Lundberg, & Nyman, A. K. (2020). Udder health of early-lactation primiparous dairy cows based on somatic cell count categories. *Journal of Dairy Science*, 103(10), 9430–9445. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18346>
- Peralta-Torres, J., Hernández-Hernández, M., López-Segovia, N., Boldo-León, X., Trujillo-Castillo, L., Quiñonez-Díaz, L., Betancur-Ancona, D., Ble-Castillo, J., & Olvera-Hernández, V. (2021). Estudio comparativo de calidad higiénicosanitaria, fisicoquímica y microbiológica de leche bovina en el sureste mexicano. *Revista MVZ Cordoba*, 26(3), 1–8. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2106>
- Pérez, E. (2017). *Manual de manejo - Sistemas intensivos sostenibles de ganadería de leche*. <https://bit.ly/2lQKaw9>
- Pinzón, L. M. E. (2016). Evaluación De La Calidad Composicional De La Leche Influenciada Por El Periodo De Transición En Vacas Doble Propósito En Tropicó Bajo Colombiano. In *Universidad De La Salle Facultad De Ciencias Agropecuarias*.
- Prieto-Manrique, E., Vargas-Sánchez, J. E., Angulo-Arizala, J., & Mahecha-Ledesma, L. (2016). Grasa y ácidos grasos en leche de vacas pastoreando, en cuatro sistemas de producción. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 19. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22816>
- Pryce, J. E., Coffey, M. P., & Simm, G. (2001). The relationship between body condition score and reproductive performance. *Journal of Dairy Science*, 84(6), 1508–1515. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70184-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70184-1)
- R Core Team. (2021). *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org>
- Ramírez Valverde, R., Martínez Rocha, R. E., Núñez Domínguez, R., & García Muñiz, J. G. (2018). Parámetros y tendencias genéticas de variables de crecimiento para bovinos Romosinuano en México. *Nova Scientia*, 10(21), 310–325. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1595>

- Rodriguez, C. E., Saavedra, G. F., & Gómez, D. F. (2015). Efecto de la etapa de lactancia sobre la calidad fisicoquímica de leche en vacas de raza Holstein y Normando. *Zootecnia Tropical*, 33(1), 23–35.
- Rodríguez, V. C., Acosta, A. F., & Calderón, A. (2015). Calidad de leches crudas en sistemas doble propósito en Córdoba (Colombia), en condiciones de máxima y mínima precipitación. *Ciencia Y Agricultura*, 12(2), 51. <https://doi.org/10.19053/01228420.4391>
- Román, P. H., Ortega, R. L., Hernández, Aparicio Laura Díaz, A. E., Espinosa, García José Antonio Núñez Hernández, Gregorio Vera, Á. H. R., Medina, C. M., & Ruiz, L. F. de J. (2009). *Producción de leche de bovino en el sistema de doble propósito*.
- Salamanca, C., & Bentez, M. (2012). Producción de leche de vacas mestizas del Sistema Doble Propósito en el municipio de Arauca - Milk production of cows crossbred dual purpose system of municipalities of Arauca. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(7), 1–15.
- Silvestre, A. M., Martins, A. M., Santos, V. A., Ginja, M. M., & Colaço, J. A. (2009). Lactation curves for milk, fat and protein in dairy cows: A full approach. *Livestock Science*, 122(2–3), 308–313. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.09.017>
- Sossa, C., & Barahona, R. (2015). *Comportamiento productivo de novillos pastoreando* 62(1), 67–80.
- Souza, R. D., dos Santos, G. T., Valloto, A. A., dos Santos, A. L Gasparino, E., da Silva, D. C., & dos Santos, W. B. R. (2010). Milk production and quality of Holstein cows in function of the season and calving order. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 11, 484-495.
- Terán, J. (2014). Manejo semiestabulado de ganado de leche en la asociación campo verde de Turucucho. In *Tesis*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5072/6/UPS-YT00261.pdf>
- Vallejo, C., Díaz, R., Morales, W., Godoy, V., Calderon, N., & Cegido, J. (2018). *Calidad físico-química e higiénico sanitaria de la leche en sistemas de producción doble propósito, Manabí-Ecuador*. 5(1), 35–44.
- Vargas Sobrado, D., Murillo Herrera, J., Hueckmann Voss, F., & Romero Zúñiga, J. J. (2017). Valores de la relación grasa/proteína y nitrógeno ureico en leche de vacas lecheras de la zona norte de Alajuela y Heredia, Costa Rica. *Revista Ciencias Veterinarias*, 34(2), 67. <https://doi.org/10.15359/rcv.34-2.1>
- Vásquez, J. F., Loaiza, E. T., & Olivera, M. (2012). Calidad higiénica y sanitaria de leche cruda acopiada en diferentes regiones colombianas TT. *Orinoquia*, 16(2), 13–23. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092012000200002&lang=es%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/rori/v16n2/v16n2a02.pdf

- Vite, C., Purroy, R., Vilaboa, J., & Severino, V. (2015). Factores genéticos y no genéticos que afectan los índices productivos y reproductivos de vacas doble propósito en la huasteca veracruzana. *Zootecnia Tropical*, 33(4), 337–349.
- Werner, E. (2014). Relación de la producción de leche y calidad sobre el recuento de células somáticas en rebaños del sur de Chile Memoria. In *Universidad Austral de Chile*. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/faw493r/doc/faw493r.pdf>
- Winston, Q. (2018). Somatic cell count (rsc) as an indicator in the resistance of bovine mastitis. *Ciencia, Revista Innovación, Tecnología*, 16, 1001–1012. http://www.scielo.org.bo/pdf/rcti/v16n17/v16n17_a05.pdf

Capítulo 3: Caracterización genómica y definición de las principales proporciones raciales existentes en una población de ganado multirracial del departamento de Norte de Santander.

3.1 Resumen

La heterosis animal se ha convertido en un elemento clave para los productores ya que conduce a la obtención de animales más productivos y adaptados a las condiciones ambientales del trópico. Sin embargo, la aplicación de cruces descontrolados ha llevado a que no se pueda conocer la composición racial de la mayoría de los animales utilizados en sistemas doble propósito en Colombia, lo que dificulta la predicción en procesos de mejoramiento productivo del hato. El objetivo de este estudio fue Caracterizar genómicamente y definir las principales proporciones raciales existentes en una población de ganado multirracial del departamento de Norte de Santander. La población inicial de estudio estuvo conformada por un total de 859 hembras receptoras multirraciales y 285 crías. Se recolectaron muestras de pelo del extremo inferior de la cola las cuales fueron almacenadas a temperatura ambiente hasta su entrega al laboratorio encargado de la extracción de DNA y de la genotipificación de las muestras. Todos los animales fueron genotipados con el chip Genesek GGP bovine 100. Se utilizó Plink V1.9 para realizar las depuraciones y controles de calidad necesarios de la base genómica. Fueron incluidos en los análisis 86.499 SNPs de 855 hembras receptoras multirraciales y 87.866 SNPs de 259 crías. Posteriormente, con el uso de la base de datos WIDDE cattle se obtuvo la información genómica de 8 poblaciones referencia (Brahman, Pardo Suizo, Criollo Guadalupe, Gyr, Holstein, Jersey, Romosinuano y Senepol). Con esta información se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para validar la dispersión de las

poblaciones cruzadas con relación a las poblaciones puras; para este propósito se utilizó el software PLINK V1.90 y R. Se estimó la pureza racial de la población mediante estrategias de agrupación con uso del software Structure V2.3.4 (Stephens & Donnelly, 2000). El número más probable de poblaciones (k) para las hembras receptoras y las crías, dados los datos genotípicos observados, se estimó realizando 5 ejecuciones para cada k ($k = 9$ y $k = 2$, respectivamente) con longitud de 10.000 Burn-in y 100.000 MCMC. Finalmente, se estimaron los valores de desequilibrio de ligamiento (LD) por medio del estadístico r^2 entre todos los pares de SNPs dentro de cada cromosoma para cada población por separado. Las estimaciones para LD se realizaron desde 0 hasta una distancia de 400 kb con el uso del programa PLINK v1.90. Para el análisis de componentes principales en las hembras, se encontró que el componente principal 1 explicó el 44,39 % de la variación relacionada con la diferenciación genómica presente entre animales del grupo *Bos primigenius indicus* (Brahman y Gyr) y *Bos primigenius taurus* (Pardo Suizo, Holstein, Jersey, Romosinuano, Senepol). En el segundo componente principal se logró explicar el 14,6 % de la variación y fue posible observar que para el caso del grupo *Bos primigenius taurus* se dio una separación entre animales con mayor presencia de componente criollo (Criollo Guadalupe, Romosinuano) y Senepol, de animales con mayor presencia de componente europeo (Holstein, Jersey, Pardo Suizo). Para el caso de las crías el componente principal 1 explicó el 30,22 % de la variación relacionada con la diferenciación presente entre animales del grupo *Bos primigenius indicus* (Gyr) y *Bos primigenius taurus* (Holstein), mientras que el segundo componente principal explicó el 9,28 % de la variación observándose una diferenciación en la población con relación al toro utilizado como padre. Se determinó que el menor error en la validación para hembras receptoras se correspondió con 7 ($k = 7$) grupos genéticos, tomando este valor como el más adecuado para explicar la estructuración racial utilizando como referencia los grupos genéticos Pardo Suizo, Cebú, Criollo Guadalupe, Holstein, Jersey, Romosinuano y Senepol. Por otro lado, el menor error para la validación en crías fue evidenciado con 2 ($k = 2$) grupos genéticos, asociados a las razas Gyr y Holstein. De igual manera, se obtuvo una media de LD (r^2) de 0,096, 0,146 y 0,175 para una distancia máxima de 400 kb en hembras receptoras, crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, respectivamente. El análisis de componentes principales realizado sobre las hembras receptoras permitió ver una relativa baja definición de la estructura poblacional, corroborando la presencia de

eventos de mestizaje en la población, como consecuencia de la falta de seguimiento genealógico y la realización de cruzamientos no dirigidos. Por su parte, el análisis de componentes principales realizado en las crías permitió diferenciar la población de crías con relación a los toros utilizados, evidenciando la existencia de posibles procesos de selección diferentes sobre las poblaciones de donde estos toros provienen, lo que a su vez podría implicar variabilidad en los parámetros productivos de las crías de esta población. La aproximación obtenida por medio del análisis de estructura poblacional permitió identificar de forma efectiva 7 grupos genéticos que posteriormente fueron agrupados en 3 componentes genéticos para la conformación de las hembras receptoras estudiadas, ayudando a robustecer las apreciaciones fenotípicas realizadas en campo. De igual manera, permitió corroborar la composición racial de las crías obtenidas, lográndose identificar de forma efectiva los 2 grupos genéticos presentes en la conformación de esta población. El valor de LD fue menor para la población mestiza de hembras receptoras, seguida por las crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y crías 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, respectivamente. Dicha situación, muestra que la raza Holstein ha sido sometida por mucho más tiempo a procesos de selección intensivos en comparación con la raza Gyr y que los reproductores utilizados han sido fuertemente seleccionados para diversas características productivas. Por otro lado, los menores valores observados para la población de hembras receptoras pueden deberse a la poca o nula selección que se ha realizado sobre estas y a posibles eventos de recombinación ocurridos durante su desarrollo.

3.2 Introducción

La mayoría de los animales utilizados en los sistemas doble propósito son el resultado de diversos cruzamientos entre las razas cebuínas (*Bos primigenius indicus*) con razas especializadas de leche como Holstein, Normando, Pardo suizo (*Bos primigenius taurus*) y en algunas zonas con razas criollas taurinas, en busca del genotipo mejor adaptado a las condiciones climáticas específicas de cada región que a su vez, permita obtener parámetros productivos y reproductivos deseados. Aunque el objetivo principal al realizar cruzamientos entre animales de diferentes razas es hacer uso eficiente de la heterosis, no todos los cruzamientos que se realizan pueden garantizar las ventajas esperadas, puesto

que si son realizados sin seguimiento de registros, se puede acelerar la presencia de problemas de adaptación y producción (Rosero Alpala et al., 2021).

La composición racial del 95 % de los animales utilizados en sistemas de carne y doble propósito en Colombia es multirracial y en la mayoría de los individuos se desconoce parcial o completamente el componente racial de estos (Elzo, 2011). Esta situación requiere de gran atención debido a que el uso de una amplia variedad de razas y cruces, la falta de registros (productivos, reproductivos y sanitarios) y el uso de apareamientos no dirigidos, resultan en individuos menos productivos y poco adaptados a las condiciones ambientales específicas de cada región.

Gracias a la llegada de altas técnicas de genotipado se han desarrollado análisis profundos y confiables sobre la estructura genética y las relaciones entre poblaciones de ganado (Mastrangelo et al, 2018). De esta manera, el estudio de la estructura genética poblacional permite identificar las relaciones genéticas y posibles eventos de introgresión en las poblaciones estudiadas; para esto se implementa un procedimiento de asignación probabilística de los individuos a determinados grupos genéticos en los que se hace uso de las proporciones de ancestría y las frecuencias alélicas de la población (Rosero Alpala et al., 2021). La aplicación de este tipo de estudios sobre poblaciones cruzadas permite un mayor acercamiento al componente racial y con ello, mayor control y predicción de características zootécnicas. Por otro lado, cuando se trabaja con cruzamientos, se pueden generar asociaciones no aleatorias entre alelos de diferentes loci generando lo que es conocido como desequilibrio de ligamiento (LD). Así mismo, la utilización de individuos cruzados puede llevar a un aumento de la heterocigosidad, disminución de la homocigosidad y puede aumentar el LD a nivel poblacional (Selli et al., 2021). De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este capítulo fue caracterizar genómicamente y definir las principales proporciones raciales existentes en una población de ganado multirracial del departamento de Norte de Santander.

3.3 Materiales y métodos

3.3.1 Población de estudio y muestreo

Este estudio contó con el aval del Comité de Ética y Bioética en Investigación de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (CEBI –UFPSO) mediante Acta 001 de 2021. La población de estudio estuvo conformada por un total de 859 hembras receptoras multirraciales y 285 crías; de estas últimas, 197 presentaban composición racial 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 88 5/8 Holstein x 3/8 Gyr. Las hembras receptoras se localizaron inicialmente en un centro de acopio ubicado en el municipio de Puerto Boyacá a una altura de 130 m.s.n.m y una temperatura promedio de 30°C. Posteriormente, a las hembras se les practicó el procedimiento de transferencia con embriones 5/8 Holstein x 3/8 Gyr y 1/2 Holstein x 1/2 Gyr. Durante su estadía en el centro de acopio, estuvieron bajo pastoreo rotacional con pasturas como *Brachiaria* sp, *Brachiaria humidicola* (Humidicola), *Brachiaria mutica* (Pará), *Bothriochloa pertusa* (Solana), *Hyparrhenia rufa* (Puntero), *Dichanthium annulatum* (Angleton), *Cynodon nlemfuensis* (Estrella), y *Panicum maximum* (Mombaza) y suplementación energética a base de semilla de algodón, palmiste, café, torta de soya, mogolla de trigo, harina de arroz y destilado de maíz. Adicionalmente, se les suministró sal mineralizada con el 6 % de fosforo.

Luego del periodo de seguimiento reproductivo de la técnica de transferencia de embriones, 840 hembras fueron distribuidas a pequeños y medianos productores de 35 hatos del departamento de Norte de Santander en el marco de un programa de repoblamiento bovino, de las cuales 420 hembras se encontraban preñadas. Los municipios participantes fueron Chinácota, El Tarra, El Zulia y Ocaña (embriones 1/2 Holstein x 1/2 Gyr), Arboledas y Pamplona (embriones 5/8 Holstein x 3/8 Gyr), ubicados a alturas que van desde los 225 hasta los 2700 m.s.n.m, con temperaturas promedio que varían entre los 12°C hasta los 28°C y precipitaciones que varían entre los 921 y 2128 mm por año. Las pasturas predominantes en esos municipios son: Braquiaria (*Brachiaria decumbens*), Brizantha (*Brachiaria brizantha*), Elefante (*Pennisetum purpureum*), Kinggrass morado (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*), Maralfalfa (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*), Estrella (*Cynodon nlemfuensis*), Guinea (*Megathyrus maximus*), Angleton (*Dichanthium aristatum*) y Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

Con propósito de análisis genético se realizó muestreo de bulbo piloso tomados de pelo de la cola, asegurando la limpieza de la zona de extracción con la finalidad de eliminar posibles residuos que pudieran contaminar la muestra. Para ello, se realizó la separación de un mechón de pelos (entre 10 – 20) del extremo inferior de la cola y se arrancó verificando la presencia del bulbo piloso. Una vez obtenidas las muestras de pelo fueron guardadas en tarjetas FTAA Classic @WHATMAN y en sobres de papel, previamente marcados con el consecutivo del animal y fueron almacenados a temperatura ambiente hasta su entrega al laboratorio de la empresa NEOGEN, encargado de la extracción de DNA y de la genotipificación de las muestras.

3.3.2 Valoración fenotípica

Las hembras receptoras fueron seleccionadas con base en su conformación fenotípica, con la finalidad de entregar hembras y embriones con mayor composición racial taurina a los municipios de Pamplona y Arboledas y de mayor composición cebuína a los municipios de Chinácota, El Tarra, El Zulia y Ocaña. Posteriormente, se realizó una valoración fenotípica más precisa en la que se buscaba reconocer las diferentes razas presentes en estas hembras, logrando identificar rasgos fenotípicos de razas como: Gyr, Holstein, Brahman, Pardo Suizo, Jersey, BON y componente criollo en general.

3.3.3 Genotipado

Se genotiparon un total de 1144 animales entregados a 6 municipios del departamento de Norte de Santander; 185 fueron llevados a Arboledas, 195 a Chinácota, 191 a El Tarra, 199 a El Zulia, 172 a Ocaña, 184 a Pamplona y 18 fueron descartadas, de los cuales 859 correspondían a hembras receptoras multirraciales y 285 a crías. Todos los animales fueron genotipados con el chip Genesek GGP bovine 100 (~100.000 SNPs). La información genómica de la población de hembras receptoras multirraciales y crías se analizó de manera independiente. Se utilizó Plink V1.9 (Purcell et al., 2007) para remover polimorfismos de inserciones y deleciones (INDELS), con posición desconocida o duplicada dentro de cromosoma y SNPs pertenecientes a cromosomas mitocondriales o sexuales, obteniéndose un total de 89.761 SNPs para realizar los análisis en hembras receptoras y 94.328 para realizar los análisis en las crías.

3.3.4 Control de calidad

El control de calidad se realizó con el programa Plink V1.9 (Purcell et al., 2007) en el que se mantuvieron SNPs con call rate > 90 % y en equilibrio de Hardy Weinberg (HWE) > 0,00001, este último aplicado solo para las hembras receptoras. Luego de realizar el control de calidad, el total de SNPs analizados para las hembras receptoras multirraciales fue de 86.499 SNPs con 855 animales y para las crías de 87.843 SNPs con 259 animales. Para las hembras receptoras multirraciales la media de call rate por SNP fue de 0,9964 y por individuo de 0,9840, y el Alelo de menor frecuencia (MAF) fue de 0,2779; en el caso de las crías la media de call rate por SNP fue de 0,995 y por individuo de 0,98, y el MAF fue de 0,2902.

3.3.5 Población referencia

Con el uso de WIDDE cattle (base de datos de próxima generación con interfaz web dedicada a la exploración de datos de genotipado denso), se obtuvo la información genómica de 8 poblaciones referencia genotipadas con el chip Illumina BovineSNP50v1 e Illumina BovineSNP50v2. Las razas referencia utilizadas para el caso del análisis en las hembras fueron seleccionadas con base en la valoración fenotípica realizada en campo y se correspondieron con las razas: Holstein, Jersey, Pardo Suizo, Gyr, Brahman, Criollo y Romosinuano. Debido a que no se logró obtener información genómica de la mayoría de las razas criollas colombianas detectadas fenotípicamente, se introdujo información de las razas Guadalupe y Senepol, razas criollas de la isla Guadalupe en las Antillas Francesas y de la isla caribeña de Saint Croix , respectivamente, para las que se han encontrado relaciones filogenéticas cercanas al criollo colombiano y para las que se han evidenciado procesos de adaptación al trópico (Naves et al., 2005; Raschia & Poli, 2021; Huson et al., 2014) por lo que, podrían ayudar a detectar componentes criollos ancestrales comunes presentes en las hembras receptoras. Para el caso de las crías en las que se tenía conocimiento previo de la composición racial de sus padres y respaldada por información genealógica, se utilizaron como población referencia, las razas Gyr y Holstein.

3.3.6 Estructura genética de la población mediante análisis de componentes principales

Con el análisis de componentes principales se busca transformar un grupo de variables correlacionadas en un número menor de variables construidas a partir de combinaciones lineales de las originales, con el objetivo de que dichas combinaciones, expliquen en mayor proporción la posible varianza inicial (Deduy Guerra, 2019). Esas nuevas combinaciones conocidas como componentes principales permiten la facilidad de interpretar visualmente el comportamiento de las variables y sus observaciones por medio de gráficos, en los que puntos que estén próximos entre sí representan variables altamente correlacionadas, por el contrario, puntos distantes entre sí representan variables poco correlacionadas. De igual manera, cuanto más alejado se encuentre un punto del punto central formado por los componentes principales mayor será la importancia de este punto sobre la variabilidad de la dimensión considerada (Meyer, 2005). Con la información genómica se determinó inicialmente la estructura genética de la población de hembras receptoras y crías mediante el análisis de componentes principales (PCA), buscando construir proyecciones de baja dimensión de los datos que expliquen la gran variación en los genotipos, que, en la práctica, se refiere a la variación entre poblaciones (Alexander et al., 2009). De esta manera, a partir de los datos genotípicos se determinaron las relaciones genéticas entre individuos y posibles dispersiones entre los grupos genéticos establecidos en la población de estudio y las razas puras utilizadas como control. Dichos análisis se desarrollaron mediante el software PLINK V1.90 (Purcell et al., 2007) y R v4.0.3 (R Core Team, 2021).

3.3.7 Estructura genética de la población mediante análisis Structure

Con el uso del software Structure V2.3.4 (Stephens & Donnelly, 2000) se estimó la estructuración genética de la población. Este programa utiliza un método de agrupación bayesiana con el cual se puede inferir la estructura de la población utilizando datos de genotipo, buscando modelar la probabilidad de los genotipos observados utilizando proporciones de ascendencia y frecuencias alélicas de la población (Alexander et al., 2009). Con este método se asume un modelo en el que se presentan k poblaciones ancestrales y en el que a cada individuo se le asigna una probabilidad de pertenecer a

cada una de esas poblaciones supuestas, dependiendo de si su genotipo indica que es un individuo puro o mestizo, es decir, se busca dar una asignación racial aproximada a cada individuo. El número más probable de poblaciones (k) para las hembras receptoras y las crías dados los datos genotípicos observados, se estimó realizando 5 ejecuciones para cada k ($k = 9$ y $k = 2$, respectivamente) con longitud de 10.000 Burn-in y 100.000 MCMC. El valor k óptimo fue seleccionado utilizando el método propuesto por Evanno et al. (2005), que se basa en la diferencia de verosimilitud entre corridas (ΔK) y muestra un pico claro en el verdadero valor de k , es decir, el k que presente el mayor valor para ΔK es el seleccionado como k óptimo. Para el caso de las hembras receptoras se analizaron los resultados para diferentes k con la finalidad de ser contrastados con la información histórica de la población y con las muestras de referencia utilizadas en el análisis, esto con la finalidad de definir grupos genéticos que se ajustaran a los datos históricos de las hembras receptoras.

3.3.8 Desequilibrio de ligamiento (LD)

Para la estimación del LD se validó el componente racial de las poblaciones de hembras receptoras y crías. De esta manera, se estimaron los valores de LD por medio del estadístico r^2 entre todos los pares de SNPs dentro de cada cromosoma para cada población por separado, en hembras receptoras y crías con proporción racial 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr. Las estimaciones para LD se realizaron desde 0 hasta una distancia de 400 kb con el uso del programa PLINK v1.90. Los valores de LD fueron agrupados de la siguiente manera: <25 kb, 25-50 kb, 50-100 kb, 100-200 kb, 200-400 kb y posteriormente fueron graficados con la finalidad de observar el decaimiento del desequilibrio de ligamiento. El cálculo de LD por medio del estadístico r^2 fue propuesto por Hill y Robertson (1968) (ver Ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

$$r^2 = \frac{D^2}{freq(A1)*freq(A2)*freq(B1)*freq(B2)} \quad (3.1)$$

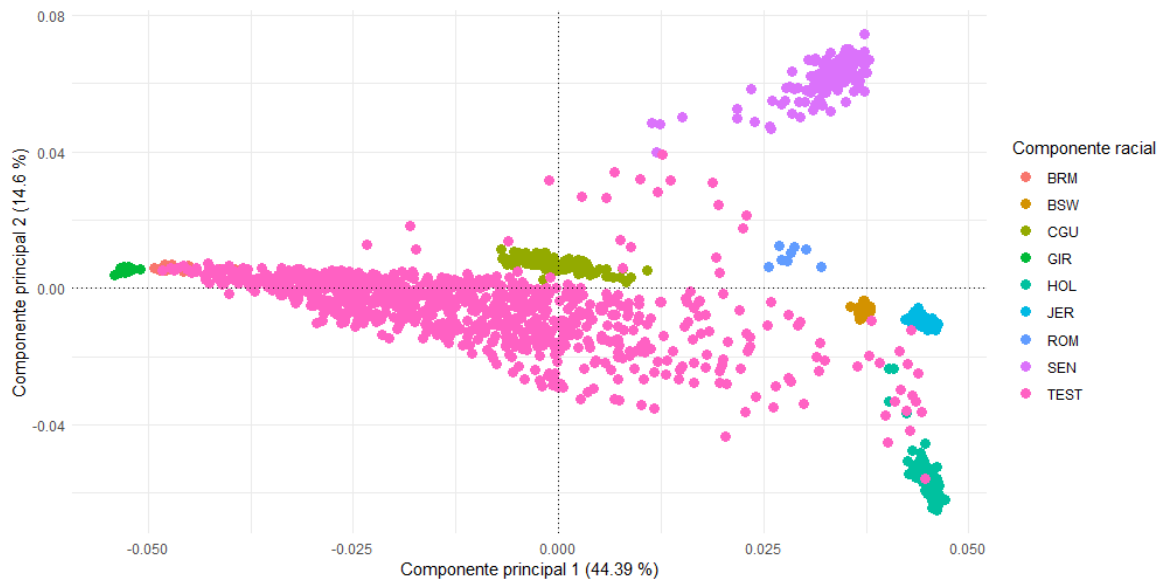
Donde; A: con alelos $A1$ y $A2$ y B: con alelos $B1$ y $B2$, y $D^2 = freq(A1_B1) * freq(A2_B2) - freq(A1_B2) * freq(A2_B1)$ con 4 haplotipos $A1_B1, A2_B2, A1_B2$ y $A2_B1$

3.4 Resultados y discusión

3.4.1 Estructura poblacional por medio de análisis de componentes principales

Con la información colectada en referencia a la apariencia fenotípica de las hembras receptoras evaluadas y con el fin de establecer posibles razas que conformen esta población se incluyeron 8 razas control y se valoró su relación por medio de un análisis de componentes principales (PCA) como se muestra en la Figura 3-1.

Figura 3-1: Análisis de componentes principales de la población de hembras receptoras con la inclusión de grupos control.



BRM: Brahman, BSW: Pardo Suizo, CGU: Criollo Guadalupe, GIR: Gyr, HOL: Holstein, JER: Jersey, ROM: Rimosinuano, SEN: Senepol, TEST: hembras receptoras

El componente principal 1 explicó el 44,39 % de la variación relacionada con la diferenciación genómica presente entre animales del grupo *Bos primigenius indicus* (BRM y GIR) con ubicación al lado izquierdo en la Figura 3-1 y *Bos primigenius taurus* (BSW, HOL, JER, ROM, SEN) con ubicación al lado derecho de la Figura 3-1. De igual manera, es posible observar que para el caso del grupo racial CGU esta diferenciación no es clara, teniéndose animales ubicados a ambos lados del componente principal 1, siendo un comportamiento similar al presentado para la población de hembras receptoras, donde

adicionalmente se puede observar una amplia dispersión entre los dos grupos de razas, demostrando en ambos grupos su carácter híbrido *taurus/indicus*.

En el segundo componente principal se logró explicar el 14,6 % de la variación y es posible observar que para el caso del grupo *Bos primigenius taurus* se da una separación entre animales con mayor presencia de componente criollo (CGU, ROM) y SEN, con una ubicación en la parte superior de la Figura 3-1, de animales con mayor presencia de componente europeo (HOL, JER, BWS) ubicados en la parte inferior de la Figura 3-1. Adicionalmente, se puede observar (Figura 3-1) que el grupo *Bos primigenius taurus* muestra mayor variabilidad respecto al grupo *Bos primigenius indicus*, destacándose que la raza SEN y HOL presentan la mayor separación en el grupo *Bos primigenius taurus*. Dicha situación, muestra la multiplicidad de linajes presentes en las hembras receptoras, en este caso, evidenciando los aportes diferenciales de linajes criollos y europeos en ellas.

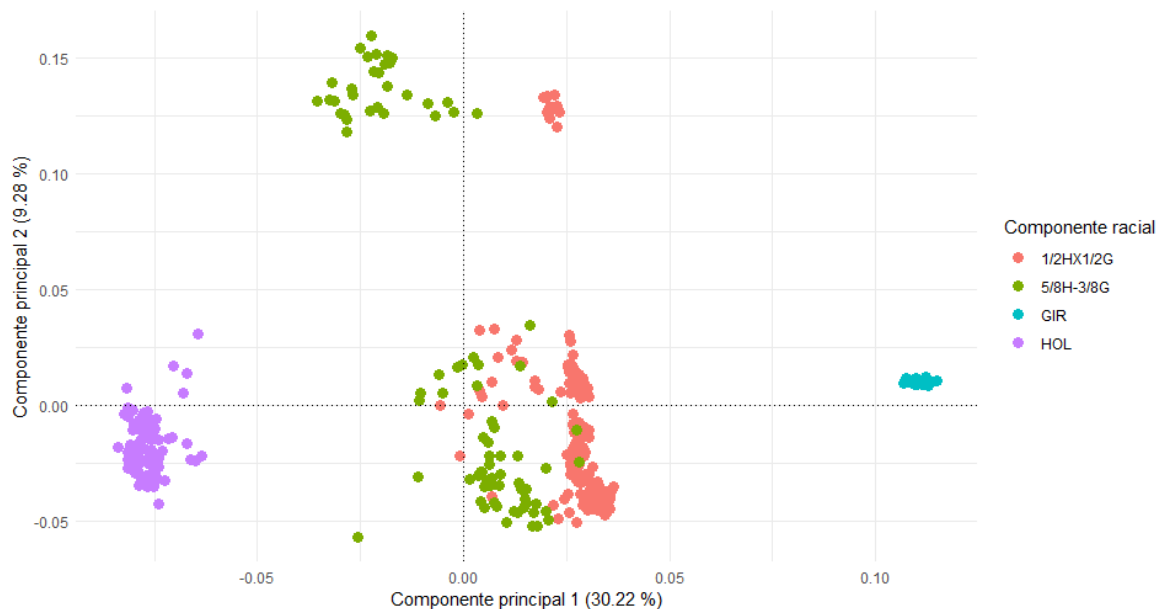
El análisis de componentes principales realizado sobre las hembras receptoras utilizando razas control permitió ver una relativa baja definición de la estructura poblacional, corroborando la presencia de eventos de mestizaje en la población. Estos resultados son en parte consecuencia de la falta de seguimiento genealógico y la realización de cruzamientos no dirigidos, ya que son cruces en los que se da una mezcla de razas al punto que, resulta en un individuo racialmente indeterminado o no definido. Dichos cruzamientos van generando inestabilidad genética, que dificultan la expresión fenotípica y productiva de una raza en particular (Martinez Tovar et al., 2017). En un estudio realizado para hatos doble propósito de Colombia, se observó un comportamiento similar entre la población de animales cruzados evaluados (Rosero Alpala et al., 2021).

Cuando se efectúan cruzamientos controlados entre razas taurinas y cebuínas, se espera que las frecuencias alélicas de los animales guarden relación al grado de cruzamiento de animales taurinos y cebuínos puros (Bolormaa et al., 2011). Sin embargo, en los sistemas productivos doble propósito los cruzamientos tienden a ser realizados sin tener en cuenta las proporciones raciales, en el afán de buscar animales más adaptados y con mayor eficiencia reproductiva y productiva, pero dicho vigor híbrido se va perdiendo con

apareamientos sin seguimiento, resultando en individuos menos productivos y con bajas tasas reproductivas (Zambrano et al., 2013).

Para las crías obtenidas por transferencia de embriones también se realizó un PCA con el fin de confirmar la asignación racial establecida para estas como 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr. Para la verificación del componente racial se utilizaron dos razas referencia (Gyr y Holstein) y al igual que con las hembras se valoró su relación genética por medio de un PCA como se observa en la Figura 3-2.

Figura 3-2: Análisis de componentes principales para la población de crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr con la inclusión de grupos control.



1/2 H x 1/2 G: 1/2 Holstein x 1/2 Gyr, 5/8 H x 3/8 G: 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, GIR: Gyr, HOL: Holstein

El componente principal 1 explicó el 30,22 % de la variación relacionada con la diferenciación presente entre animales del grupo *Bos primigenius indicus* (GIR) con ubicación al lado derecho de la Figura 3-2 y *Bos primigenius taurus* (HOL) con ubicación al lado izquierdo de la Figura 3-2.

El segundo componente principal explicó el 9,28 % de la variación observándose una diferenciación en la población con relación al toro utilizado como padre. De esta manera,

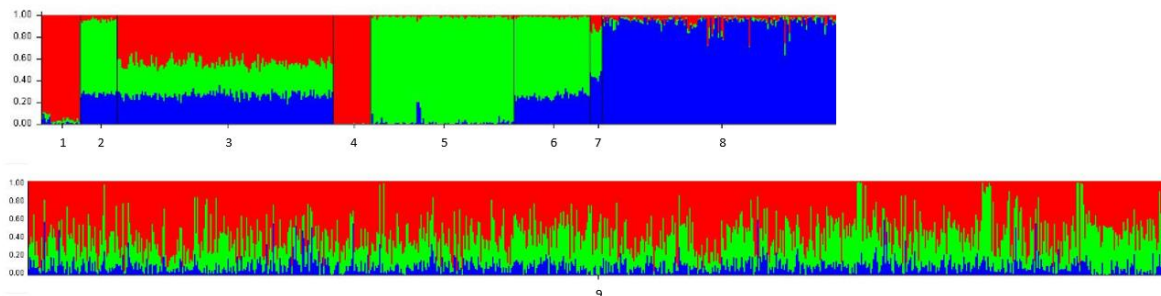
en la parte superior de la Figura **3-2** es posible observar la mayoría de las crías de los toros Solomon y Forte y en la parte inferior crías de los toros Byway, Crushabull, Diessel, Duke, Einstein, Fabulous, Fortune, Jedi, Montross y en menor proporción Forte y Solomon. El comportamiento observado para el componente dos puede estar evidenciando procesos de selección diferente para las poblaciones de donde provienen los toros utilizados, lo que podría implicar parámetros productivos diferentes en la población. De igual manera, es posible observar que los grupos raciales $1/2$ Hol x $1/2$ Gyr y $5/8$ Hol x $3/8$ Gyr se ubican en medio de las razas puras HOL y GIR, siendo que las crías $5/8$ Hol x $3/8$ Gyr están más próximas a la raza HOL. Tales distribuciones de las poblaciones se comportan conforme a lo esperado, dado la estrategia de apareamientos realizados en la población.

Aunque se tenía conocimiento de los registros genealógicos de las crías, la composición racial basada en el pedigrí puede verse comprometida por registros inexactos y/o incompletos (Vanraden & Cooper, 2015). Kuehn et al. (2011) señalan que al evaluar la capacidad de determinar la composición racial a partir de los datos del genotipo SNP, se asume que los registros genealógicos representan la composición racial "verdadera". Dicha suposición es cierta para las poblaciones F1, pero no es necesariamente el caso para el ganado cruzado F2 y de cuarta vía. Debido a los eventos de cruzamiento, el muestreo mendeliano, que se refiere a un muestreo al azar de los genes parentales causados por la segregación y distribución independiente de genes durante la fase de gametogénesis, puede conducir a una variación en la composición racial que no se refleja en el pedigrí reportado (Kuehn et al., 2011). El uso de datos genómicos para la estimación de la composición racial tiene variadas ventajas, incluyendo mayor precisión sin verse afectada por registros faltantes, inexactos o incompletos e incluso su utilización como una herramienta para la autenticación independiente de raza en productos de carne de vacuno etiquetados por raza (Gobena et al., 2018). Por otro lado, el comportamiento observado para los componentes en el PCA en el que se ofreció información adicional sobre diferencias en los toros utilizados como reproductores con relación a la estructuración genética, no habría sido observable solo con la información genealógica.

3.4.2 Análisis de estructura genética

Aunque el análisis de PCA permite proyecciones de baja dimensión de los datos que explican la considerable variación en los genotipos, no proporciona fracciones de mezcla directamente, lo que si hace el análisis de estructura del programa Structure. El análisis de estructura genética es otro método de aproximación que permite definir los grupos genéticos existentes en una población; para este método se utiliza la asignación probabilística bayesiana. Utilizando el método de Evanno et al. (2005) se determinó $k = 3$ como la estructura genética ancestral con menor error de validación; en ella se separan tres componentes, uno cebuino (rojo) y dos taurinos europeos (Figura 3-3). Observando las razas que presentan linajes ancestrales europeos podríamos decir que se detectó un componente europeo continental (verde), detectado en Holstein, Pardo Suizo, Jersey, Romosinuano y Criollo Guadalupe; y otro ibérico (azul), detectado en Senepol, Pardo Suizo, Jersey, Romosinuano y Criollo Guadalupe (Figura 3-3). En este $k = 3$, las hembras receptoras se presentan como una mezcla de los tres linajes, coincidiendo con los datos históricos que reportan una base criolla, donde se han sucedido cruzamientos con razas europeas y cebuínas lecheras.

Figura 3-3: Estructura poblacional de genotipos en la población de hembras receptoras y razas control para un $k = 3$.

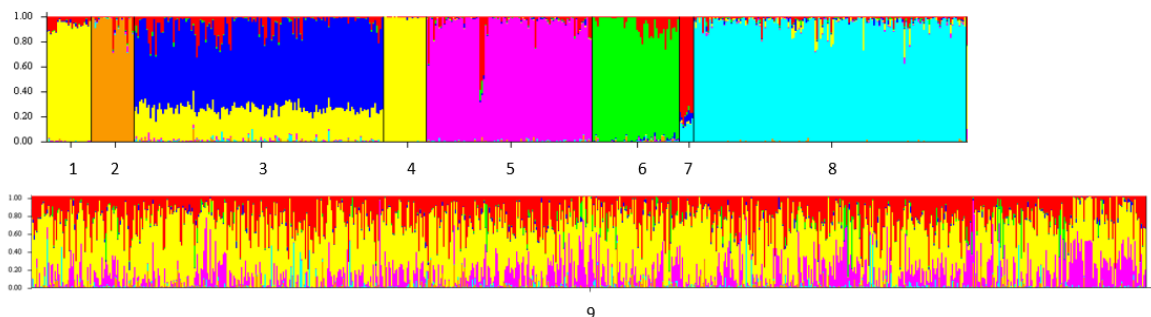


1: Brahman, 2: Pardo Suizo, 3: Criollo Guadalupe, 4: Gyr, 5: Holstein, 6: Jersey, 7: Romosinuano, 8: Senepol, 9: hembras receptoras. En el gráfico, cada individuo está representado por una línea vertical y el color se corresponde con la asignación a cada grupo genético, Cebú: rojo, Continental: verde e ibérico: azul .

Luego se analizaron el resto de los resultados para otros k , a partir de esto, se observó que el resultado para $k = 7$, diferenciaba correctamente las razas incluidas como referencia y se coincidía con los datos históricos de relaciones entre razas (Figura 0-4). Tomando este valor como el más adecuado para explicar la composición racial de las hembras

receptoras, se puede observar que estos animales presentan mayoritariamente una composición genética mestiza con un componente cebuino (amarillo), un componente Holstein (rosado) y un tercer componente criollo (rojo) compartido con el Romosinuano. Además, los resultados muestran que algunos de estos animales tendrían ancestros Pardo Suizo (anaranjado) y Jersey (verde). Por otro lado, en este k se pueden observar 3 componentes criollos: i) el ya mencionado (rojo) y compartido con Romosinuano, que también está presente en baja proporción en el Criollo Guadalupe y el Senepol, ii) el del Criollo Guadalupe (azul), compartido en parte con el Romosinuano y presente en muy baja frecuencia en las hembras receptoras; y iii) el de Senepol (celeste), que también es compartido por el Romosinuano y se observa en algunas hembras receptoras. En la Figura 3-4 se pueden observar de manera gráfica los resultados obtenidos con relación a la población de hembras receptoras.

Figura 3-4: Estructura poblacional de genotipos en la población de hembras receptoras y razas control para un $k = 7$.



1: Brahman, 2: Pardo Suizo, 3: Criollo Guadalupe, 4: Gyr, 5: Holstein, 6: Jersey, 7: Romosinuano, 8: Senepol, 9: hembras receptoras. En el gráfico, cada individuo está representado por una línea vertical y el color se corresponde con la asignación a cada grupo genético, Cebú: amarillo, Pardo Suizo: anaranjado, Criollo Guadalupe: Azul, Holstein: rosado, Jersey: verde, Romosinuano: rojo, Senepol: celeste.

Con base en la información obtenida por medio del análisis de estructura en $k = 7$, se decidió conformar 3 grupos genéticos sumando los diferentes componentes ancestrales. La agrupación se realizó de la siguiente manera estableciendo tres grupos genéticos: i) Cebú, ii) Criollo (suma de los componentes CGU, ROM y SEN) y iii) Taurino europeo (suma de los componentes HOL, JER, BSW). Bajo este agrupamiento se encontró que el conjunto genético cebú y criollo presentaron la mayor proporción racial en la población de hembras

receptoras. La contribución promedio de los componentes cebú, criollo y taurino europeo en la población de hembras fue de 53,26 %, 27,60 % y 19,13 %, respectivamente. Encontrándose, que para el componente criollo y taurino europeo la mayor contribución estuvo determinada por ROM y HOL, respectivamente (Tabla 3-1).

Los componentes raciales cebuinos (Gyr y Brahman) y taurino europeo (JER, BSW, HOL) fueron predominantes en las observaciones fenotípicas en campo, mientras que el componente criollo fue el menos predominante. Sin embargo, en las observaciones genómicas el orden de predominancia fue cebú, criollo y taurino europeo (HOL), demostrando que la estimación del acervo genético de las hembras receptoras se mejoró considerablemente cuando se implementaron los análisis genómicos. Por otro lado, se observa que existen hembras con proporciones raciales muy variadas, cuando lo que esperan los ganaderos, es que a medida que se realizan cruces, los individuos de la población tengan una proporción racial muy definida.

Tabla 0-1: Contribución racial promedio en porcentaje en hembras receptoras respecto al grupo genético de las razas control.

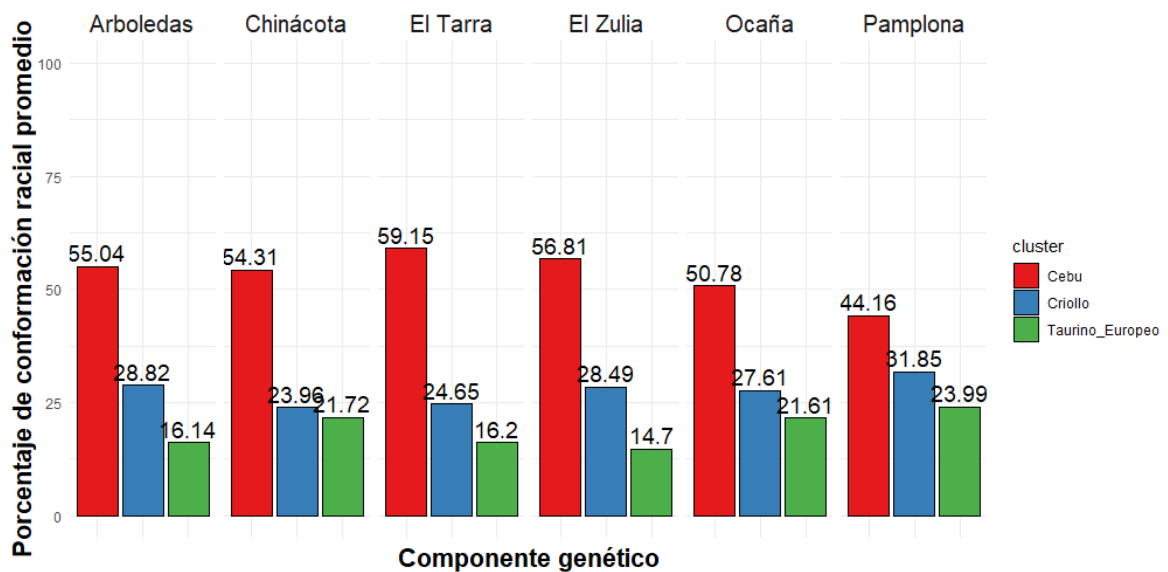
Componente	Grupo genético razas control	Proporción genética de hembras receptoras
Cebú	Cebú	53,26 %
Criollo	CGU	1,18 %
	ROM	24,59 %
	SEN	1,82 %
Taurino Europeo	HOL	14,77 %
	JER	2,21 %
	BSW	2,14 %

Cebú: Brahman y Gyr, CGU: Criollo Guadalupe, ROM: Romosinuano, SEN: Senepol, HOL: Holstein, JER: Jersey, BSW: Pardo Suizo.

A su vez, el análisis por medio de información genómica permitió reconocer la proporción de grupos genéticos presentes en las hembras receptoras entregadas a cada municipio. En la Figura 3-5, se observa la contribución racial promedio aproximada de las hembras receptoras por municipio a partir de la información generada por el análisis de Structure. En general, se encontró mayor proporción del grupo genético cebú, seguido por criollo, y taurino europeo con valores muy cercanos para estos últimos dos componentes genéticos. De igual manera, se encontró que en El Tarra (59,15 %) y El Zulia (56,81 %) se recibieron

las hembras receptoras con mayor contribución de Cebú, en Pamplona (31,85 %) y Arboledas (28,82 %) hembras con mayor contribución criolla y finalmente, en Pamplona (23,99 %), Chinácota (21,72 %) y Ocaña (21,61 %) con mayor contribución de taurino europeo.

Figura 3-5: Porcentajes de conformación racial de hembras receptoras respecto a componente racial cebuino, criollo y taurino para cada uno de los municipios participantes.

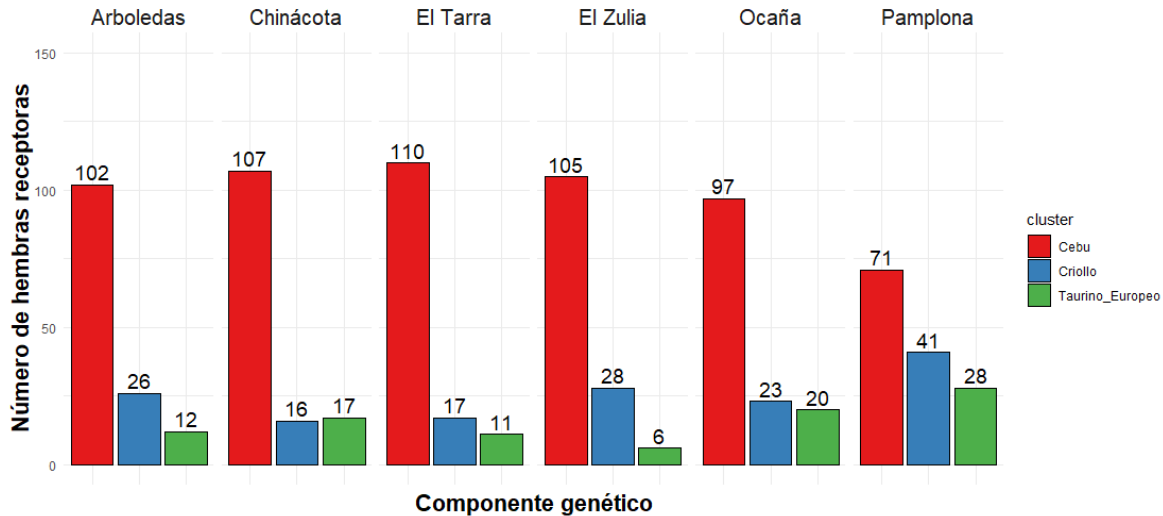


Se ha conocido que en vacas una proporción racial mayor a 50 % de *Bos primigenius taurus* está asociada con mayor volumen de leche y menor respuesta reproductiva a las condiciones ambientales del trópico, mientras que una proporción mayor de *Bos primigenius indicus* está relacionado con una mayor capacidad de adaptación e índices reproductivos superiores que los de *Bos primigenius taurus* (Perdomo et al., 2017; Zambrano et al., 2013). Esta situación en particular motiva los cruzamientos entre animales Cebú y taurinos, pero la realización de cruzamientos desordenados, sin una orientación y criterio técnico, con desconocimiento del potencial del recurso animal y de la pureza racial de los reproductores, genera animales con bajos índices productivos y reproductivos.

Aunque se esperaba entregar hembras con mayor composición racial taurina a los municipios de Pamplona y Arboledas y de mayor composición cebuina a los municipios de

Chinácota, El Tarra, El Zulia y Ocaña, en concordancia con las características ambientales de los municipios, esta distribución no se logró completamente, encontrando que para Arboledas y Pamplona fue mayor el número de hembras receptoras con composición racial cebuína que taurina (Figura 3-6). La aplicación de metodologías de genotipado habría permitido desde un inicio determinar la composición racial de cada una de las hembras receptoras antes de su distribución a los diferentes municipios, lográndose cumplir el objetivo de entregar animales más taurinos a las zonas con condiciones ambientales más favorables para estas.

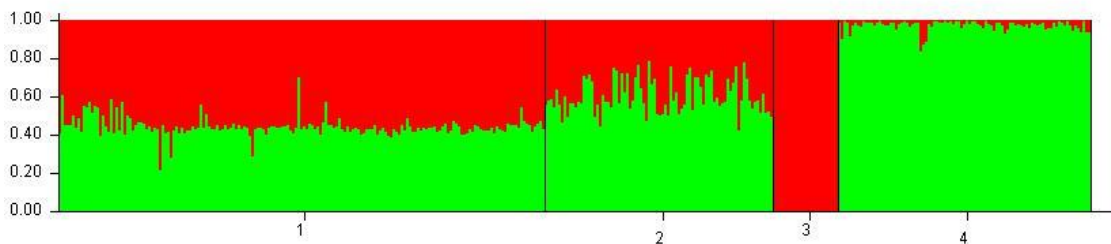
Figura 0-6: Número total de hembras receptoras por municipio según el componente racial predominante.



Con la realización al análisis de estructura poblacional para las crías se buscó reconocer cuánto del genoma fue heredado de cada una de las razas parentales y verificar si dichas proporciones se correspondían con las establecidas por el Pedigrí. Se encontró de manera general, que la composición racial de las crías (Figura 3-7) guarda relación con la asignación racial establecida en la población por medio de pedigrí y confirman los hallazgos establecidos en el PCA, evidenciando que las crías tienen un componente racial intermedio a sus progenitores. Sin embargo, algunos animales mostraron proporciones raciales superiores o inferiores al componente racial esperado; dicha situación puede deberse a un error asociado a la metodología o a los procesos de selección que se han desarrollado sobre estas razas, lo que genera que las frecuencias alélicas se vean

modificadas. Situación similar se encontró en un estudio sobre animales Brangus donde la proporción de Angus de la población fue más alta a la proporción esperada por Pedigrí (Wang et al., 2020).

Figura 0-7 Estructura poblacional de genotipos en la población de crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr, 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, y razas control.



1: 1/2 Holstein x 1/2 Gyr, 2: 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, 3: Gyr, 4: Holstein

3.4.3 Análisis de desequilibrio de ligamiento (r^2)

La cantidad de LD presente en una población es importante porque sirve como fuente de información acerca de los eventos históricos de recombinación que permite inferencias de diversidad genética, subdivisión geográfica y regiones genómicas que han sufrido selección (McKay et al., 2007; Slatkin, 2008). Para este estudio se obtuvo una media de desequilibrio de ligamiento (r^2) de 0,096, para una distancia máxima de 400 kb en hembras receptoras. Para las crías se obtuvo una media de r^2 de 0,149 y 0,175 en individuos 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, respectivamente.

De igual manera, la media de r^2 más baja para estas hembras se presentó en El Bos Taurus Autosoma (BTA) 25 con un valor de 0,078 y el valor de media de r^2 más alto se presentó en el BTA 5 con valores de 0,107 (Tabla 3-2). La media de r^2 más baja se presentó en BTA 27 (0,126) para crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y en el BTA 28 para crías 5/8 Holstein x 3/8 Gyr (0,147) y el valor de media de r^2 más alto se presentó en el BTA 7 y 16 con valores de 0,164 y 0,194 en crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, respectivamente (Tabla 3-2). De igual manera, fue posible observar que para las crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr todos los BTA obtuvieron valores de r^2 más bajos que las crías 5/8 Holstein x 3/8 Gyr. Y a su vez, las hembras receptoras presentaron valores de r^2 más bajos que las crías.

Tabla 0-2: valores estimados de r^2 para cada autosoma (BTA) en la población de hembras receptoras y crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr.

BTA	Hembras receptoras			Crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr			Crías 5/8 Holstein x 3/8 Gyr		
	SNP (n)	r^2	SD	SNP (n)	r^2	SD	SNP (n)	r^2	SD
1	5286	0,102	0,160	5310	0,144	0,192	5291	0,173	0,211
2	4484	0,099	0,154	4493	0,154	0,201	4459	0,185	0,222
3	4292	0,101	0,160	4302	0,146	0,195	4264	0,175	0,213
4	3839	0,093	0,146	3871	0,141	0,190	3842	0,168	0,207
5	4283	0,107	0,168	4239	0,157	0,210	4199	0,180	0,221
6	4133	0,093	0,156	4123	0,145	0,195	4092	0,177	0,215
7	3682	0,100	0,163	3692	0,164	0,216	3667	0,192	0,229
8	3636	0,102	0,157	3670	0,143	0,192	3643	0,175	0,212
9	3544	0,098	0,157	3562	0,146	0,197	3555	0,168	0,211
10	3473	0,094	0,150	3487	0,152	0,198	3471	0,192	0,224
11	3618	0,097	0,153	3586	0,146	0,196	3583	0,168	0,210
12	2885	0,092	0,146	2909	0,134	0,186	2904	0,163	0,204
13	2911	0,098	0,153	2935	0,147	0,196	2911	0,171	0,209
14	2888	0,103	0,160	2895	0,154	0,204	2864	0,180	0,218
15	2915	0,093	0,152	2935	0,147	0,195	2912	0,185	0,220
16	2684	0,100	0,161	2695	0,149	0,200	2655	0,194	0,230
17	2541	0,086	0,142	2548	0,136	0,186	2532	0,163	0,200
18	2447	0,090	0,152	2442	0,131	0,185	2423	0,166	0,208
19	2505	0,101	0,162	2480	0,153	0,206	2466	0,177	0,219
20	2622	0,099	0,165	2607	0,156	0,206	2584	0,187	0,224
21	2447	0,100	0,160	2445	0,147	0,196	2444	0,172	0,213
22	2111	0,087	0,143	2090	0,144	0,196	2075	0,171	0,214
23	1977	0,093	0,157	2008	0,145	0,199	1998	0,167	0,213
24	2150	0,097	0,150	2156	0,141	0,191	2137	0,171	0,215
25	1621	0,078	0,137	1607	0,134	0,183	1606	0,161	0,200
26	1735	0,082	0,141	1732	0,134	0,188	1724	0,162	0,206
27	1624	0,080	0,138	1620	0,126	0,174	1619	0,152	0,194
28	1629	0,078	0,133	1647	0,128	0,175	1645	0,147	0,189
29	1761	0,088	0,140	1749	0,143	0,187	1743	0,181	0,218

BTA: autosomas, r^2 : estimativa de desequilibrio de ligamiento, SD: desviación estándar

Los valores de LD más altos para las crías 5/8 Holstein x 3/8 Gyr pueden ser consecuencia de que la raza Holstein ha sido sometida por mucho más tiempo a procesos de selección intensivos en comparación con la raza Gyr y a que los reproductores utilizados han sido fuertemente seleccionados para diversas características productivas. Por otro lado, los menores valores observados para la población de hembras receptoras pueden deberse a la poca o nula selección que se ha realizado sobre estas y a posibles eventos de recombinación ocurridos durante su desarrollo. De hecho, en un estudio de simulación realizado por Selli et al. (2021) se evaluaron dos poblaciones (A y B) con diferentes

intensidades de selección. La población A fue seleccionada de forma menos intensiva presentando valores más pequeños de r^2 , que los autores relacionaron con posibles eventos de recombinación. Por su parte, La población B fue seleccionada de forma más intensiva, mostrando un mayor coeficiente de endogamia y un aumento en el grado de asociación entre marcadores que ocasionó valores de r^2 más altos.

Los valores de LD por cromosoma encontrados en este estudio para las crías fueron superiores a los encontrados por Neves et al. (2015) en la raza Gyr con valores entre 0.094 y 0.140 y a los encontrados por Salem et al. (2018) en la raza Holstein con valores entre 0.088 y 0.158. Se han establecido algunas teorías referentes a las diferencias encontradas en los valores de LD entre cromosomas. Así, McKay et al. (2007) señalan dos teorías; la primera, relacionada con la selección de rasgos de producción que duran 50 generaciones o más y que dan como resultado la distribución de QTL en todo el genoma, conllevando a que se generen diferentes patrones de LD en cada uno de los cromosomas; y la segunda, relacionada con el hecho de que algunos cromosomas presentan una tasa de recombinación más alta, causando un LD más bajo en comparación con otros cromosomas.

La estimación de los valores de LD cambia con relación a la población, tipo de marcadores, tamaño de la muestra y densidad del Chip utilizados en cada estudio. Así por ejemplo, Salem et al. (2018) obtuvieron los valores de LD mayores para el BTA 14 en ganado Holstein, mientras que Lu et al.(2012) encontraron mayores valores de LD en BTA 5 en ganado de carne Angus. Estos BTA también presentaron mayor LD en la población de hembras receptoras con valores de 0,1066 (BTA 5) y 0,1032 (BTA 14). En el BTA 5 se han encontrado varios QTL y genes como IGF-1 y myf5 que afectan rasgos como peso al nacimiento y características de la canal y en BTA 14, se han observado genes que afectan características de la leche similares al gen DGAT1. Por lo cual, la selección para mejorar características de peso al nacimiento, canal y producción de leche podría aumentar el LD en BTA 5 y BTA 14. Por otro lado, en ganado Nellore se encontraron los menores valores de LD para los BTA 1, BTA 27, BTA 28 y BTA 29 (Espigolan et al., 2013); lo que coincide con lo encontrado en este estudio en el que los BTA 27 y 28 fueron los autosomas con menor valor de LD encontrados para la población de crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8

Holstein x 3/8 Gyr, respectivamente, y uno de los autosomas con menor valor de LD en las hembras receptoras.

Únicamente los marcadores separados por hasta 25 kb (hembras receptoras) y hasta 50 kb (Crías) mostraron un r^2 promedio superior a 0.20 – 0.30 (Tabla 3-3), siendo este rango el que generalmente es utilizado en estudios previos para definir los niveles de LD a partir de los cuales funcionarían metodologías como la selección genómica (Hayes et al., 2009). Por su parte, Neves et al. (2015) encontraron promedios de r^2 en este rango a una distancia de hasta 100 kb en ganado lechero Gyr, Martínez-Reina et al.(2020) a una distancia de hasta 33 kb en ganado Simmental, Salem et al. (2018) a una distancia de hasta 70 kb en ganado Holstein, Bejarano et al. (2018) a una distancia de hasta 200 kb en ganado BON y Romosinuano y Lu et al.(2012) a una distancia de hasta 70 kb (Angus), y 30 kb (charoláis y mestizos)

Tabla 0-3: Media de desequilibrio de ligamiento para pares de marcadores separados por hasta 400 kb, de acuerdo con las estadísticas r^2 y el porcentaje de pares de marcadores con $r^2 > 0,30$.

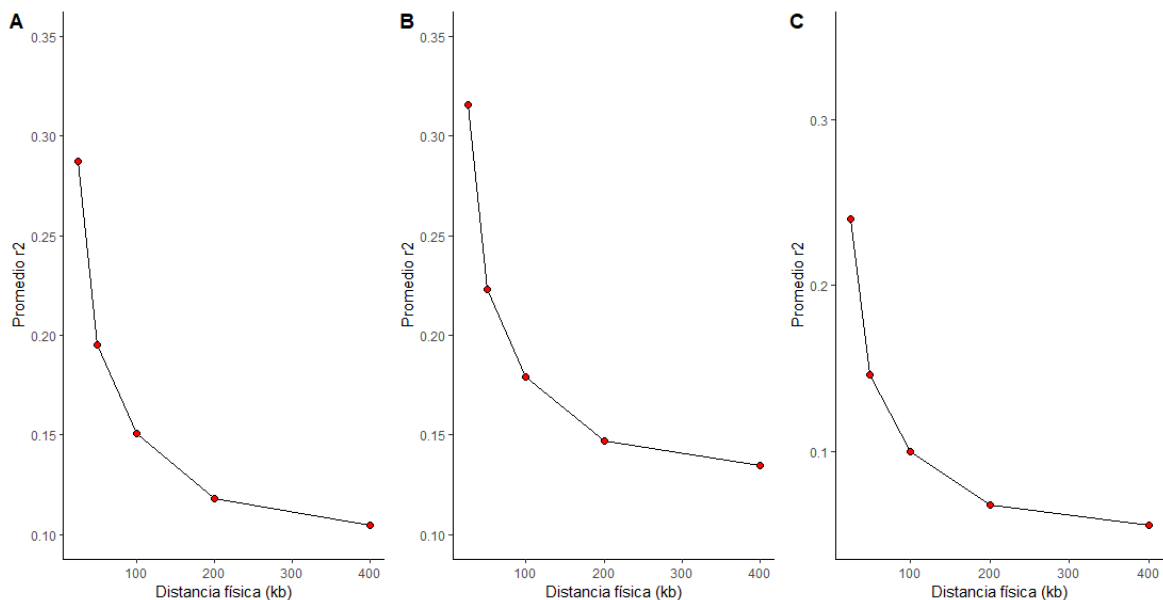
Distancia (kb)	Población	r^2	SD	Número de SNPs con $r^2 > 0,30$	Porcentaje de SNPs con $r^2 > 0,30$
25	Hembras receptoras	0,240	0,272	20363	28,17
50		0,146	0,195	12138	15,37
100		0,100	0,147	12475	8,44
200		0,068	0,104	9954	3,79
400		0,055	0,083	3818	1,99
25	Crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr	0,288	0,294	26225	36,48
50		0,195	0,233	18302	23,15
100		0,151	0,194	23608	15,93
200		0,118	0,159	28372	10,85
400		0,105	0,142	16234	8,81
25	Crías 5/8 Holstein x 3/8 Gyr	0,316	0,305	28462	40,06
50		0,223	0,248	21349	27,34
100		0,179	0,213	29944	20,44
200		0,147	0,181	39808	15,41
400		0,135	0,167	24547	13,49

SD: desviación estándar, r^2 : estimativa de desequilibrio de ligamiento

En la Figura 3-8 se pueden observar los valores promedio de r^2 para los diferentes grupos de distancia, en los cuales a medida que aumenta la distancia entre pares de marcadores,

el valor de r^2 disminuye, evidenciando el decaimiento del desequilibrio de ligamiento. De igual manera, se puede observar que la población de hembras receptoras (Figura 3-8 C) presentó los valores de r^2 más bajos a una misma distancia, seguido por las crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr (Figura 3-8 A) y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr (Figura 3-8 B), respectivamente.

Figura 0-8: Decrecimiento del desequilibrio de ligamiento (r^2) de acuerdo con la distancia entre cada par de SNPs dentro de cromosoma (kb) para crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr (A), 5/8 Holstein x 3/8 Gyr (B) y para hembras receptoras (C).



Se ha descrito que el LD está influenciado por factores como la deriva genética, los cruzamientos, las tasas de mutación y recombinación, la selección, el tamaño de la población, los eventos de cuellos de botella y otros eventos genéticos que puede experimentar una población (Qanbari, 2020). En el caso particular de los cruzamientos se ha mencionado que el cruce entre poblaciones crea valores de LD considerables, los cuales dependerán de la similitud existente entre los perfiles de frecuencias alélicas presentes en las poblaciones que serán cruzadas. De esta manera, el cruzamiento de poblaciones endogámicas genera LD significativas. Sin embargo, este valor podría ser pequeño si se cruzaran poblaciones con frecuencias genéticas similares para las cuales dichas frecuencias se deterioran rápidamente, desapareciendo después de un número limitado de generaciones (Qanbari, 2020).

El comportamiento del decaimiento de la curva de desequilibrio de ligamiento en la población de crías (Figura **3-8 A y B**) muestra un comportamiento diferente en magnitud para las crías F1 y las 5/8 Holstein x 3/8 Gyr; esta situación puede deberse a que la población F1 se encuentra en estado 100 % heterocigota (en términos raciales), mientras que la población 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, en la que se ha presentado por lo menos dos recombinaciones, presenta homocigosis racial en una parte de su genoma. Por otro lado, la población F1 logra capturar una mayor diversidad haplotípica debido a las diferencias en el contenido genotípico de los progenitores (*Bos primigenius indicus* y *Bos primigenius taurus*); por el contrario, la población 5/8 Holstein x 3/8 Gyr comienza a tener mayor participación de uno de los componentes raciales, lo que puede representar la modificación de las frecuencias alélicas aproximándose posiblemente a las que se observarían en la población pura Holstein. De hecho, un estudio de simulación realizado en una población bovina con diferentes combinaciones genotípicas encontró que para la población 1/2 A x 1/2 B se obtuvo menor LD, mientras que en las poblaciones 3/4 B x 1/4 A y 7/8 B x 1/8 A se obtuvo un mayor LD (Selli et al., 2021).

Con relación a la población mestiza de hembras receptoras, Lu et al. (2012) reportaron un comportamiento similar al encontrado en este estudio para los animales mestizos, en los que los valores de LD fueron inferiores a los observados en las razas puras Angus y Charoláis.

3.5 Conclusiones

El uso de análisis genómico como herramienta para la determinación de la estructura poblacional garantiza una amplia precisión en la estimación del componente racial a nivel individual y de hato, convirtiéndose en una herramienta segura y rentable para la implementación de apareamientos dirigidos que garanticen el correcto aprovechamiento de la heterosis con un balance entre la producción de leche, carne y adaptación. A su vez, permite identificar relaciones genéticas en la población y a nivel individual que no serían posibles de abarcar con solo la información de genealogía

El análisis de componentes principales realizado sobre las hembras receptoras utilizando razas control permitió ver una relativa baja definición de la estructura poblacional, corroborando la presencia de eventos de mestizaje en la población, como consecuencia de la falta de seguimiento genealógico y la realización de cruzamientos no dirigidos, ya que en estos cruces se da una mezcla de razas al punto que, resulta en un individuo racialmente indeterminado o no definido. Por su parte, el análisis de componentes principales realizado en las crías permitió diferenciar la población de crías con relación a los toros utilizados, evidenciando la existencia de posibles procesos de selección diferentes para las poblaciones de donde provienen los toros utilizados, lo que, a su vez podría implicar variabilidad en los parámetros productivos de las crías de esta población.

La aproximación obtenida por medio del análisis de estructura poblacional permitió identificar de forma efectiva 7 grupos genéticos que posteriormente fueron agrupados en 3 componentes genéticos para la conformación de las hembras receptoras estudiadas, ayudando a robustecer las apreciaciones fenotípicas realizadas en campo. De igual manera, permitió corroborar la composición racial de las crías obtenidas, lográndose identificar de forma efectiva los 2 grupos genéticos presentes en la conformación de esta población.

El valor de LD fue menor para la población mestiza de hembras receptoras, seguida por las crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y crías 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, respectivamente. Dicha situación, muestra que la raza Holstein ha sido sometida por mucho más tiempo a procesos de selección intensivos en comparación con la raza Gyr y que los reproductores utilizados han sido fuertemente seleccionados para diversas características productivas. Por otro lado, los menores valores observados para la población de hembras receptoras pueden deberse a la poca o nula selección que se ha realizado sobre estas y a posibles eventos de recombinación con múltiples razas ocurridos durante su desarrollo.

3.6 Bibliografía

Alexander, D. H., Novembre, J., & Lange, K. (2009). Fast model-based estimation of

- ancestry in unrelated individuals. *Genome Research*, 19(9), 1655–1664. <https://doi.org/10.1101/gr.094052.109>
- Bejarano, D., Martínez, R., Manrique, C., Parra, L. M., Martínez Rocha, J. F., Gómez, Y., Abuabara, Y., & Gallego, J. (2018). Linkage disequilibrium levels and allele frequency distribution in blanco orejinegro and romosinuano creole cattle using medium density snp chip data. *Genetics and Molecular Biology*, 41(2), 426–433. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-gmb-2016-0310>
- Bolormaa, S., Hayes, B. J., Hawken, R. J., Zhang, Y., Reverter, A., & Goddard, M. E. (2011). Detection of chromosome segments of zebu and taurine origin and their effect on beef production and growth. *Journal of Animal Science*, 89(7), 2050–2060. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3363>
- Deduy Guerra, I. (2019). Regresión sobre componentes principales. Universidad de Sevilla.
- Elzo, M. A. (2011). *Evaluación Multirracial de Bovinos en Colombia : desde la genética a la genómica*.
- Espigolan, R., Baldi, F., Boligon, A. A., Souza, F. R. P., Gordo, D. G. M., Tonussi, R. L., Cardoso, D. F., Oliveira, H. N., Tonhati, H., Sargolzaei, M., Schenkel, F. S., Carneiro, R., Ferro, J. A., & Albuquerque, L. G. (2013). Study of whole genome linkage disequilibrium in Nelore cattle. *BMC Genomics*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-305>
- Evanno, G., Regnaut, S., & Goudet, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology*, 14(8), 2611–2620. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x>
- Gobena, M., Elzo, M. A., & Mateescu, R. G. (2018). Population structure and genomic breed composition in an Angus-Brahman crossbred cattle population. *Frontiers in Genetics*, 9(MAR), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00090>
- Hayes, B. J., Bowman, P. J., Chamberlain, A. J., & Goddard, M. E. (2009). Erratum: Invited review: Genomic selection in dairy cattle: Progress and challenges (*Journal of Dairy Science* 92 (433-443)). *Journal of Dairy Science*, 92(3), 1313. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-92-3-1313>
- Hill WG, Robertson A. Linkage disequilibrium in finite populations. *Theor Appl Genet*. 1968 Jun;38(6):226-31. doi: 10.1007/BF01245622. PMID: 24442307.
- Huson, H. J., Kim, E. S., Godfrey, R. W., Olson, T. A., McClure, M. C., Chase, C. C., Rizzi, R., O'Brien, A. M. P., Van Tassell, C. P., Garcia, J. F., & Sonstegard, T. S. (2014). Genome-wide association study and ancestral origins of the slick-hair coat in tropically adapted cattle. *Frontiers in Genetics*, 5(APR), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00101>
- Kuehn, L. A., Keele, J. W., Bennett, G. L., McDanel, T. G., Smith, T. P. L., Snelling, W. M., Sonstegard, T. S., & Thallman, R. M. (2011). Predicting breed composition using

- breed frequencies of 50,000 markers from the US Meat Animal Research Center 2,000 bull project. *Journal of Animal Science*, 89(6), 1742–1750. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3530>
- Lu, D., Sargolzaei, M., Kelly, M., Li, C., Voort, G. Vander, Wang, Z., Plastow, G., Moore, S., & Miller, S. P. (2012). Linkage disequilibrium in Angus, Charolais, and Crossbred beef cattle. *Frontiers in Genetics*, 3(AUG), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fgene.2012.00152>
- Martínez-Reina, Doria-Ramos, A. M. ;, García-Jiménez, ;, Salcedo-Carrascal, J. ;, Herrera-Pérez, E. ;, & Carrascal-Triana, N. ; (2020). Archivos de Zootecnia. *Arch. Zootec*, 69(268), 444–452. <https://doi.org/10.5061/dryad.th092>
- Martinez Tovar, R. A., Herrera Valencia, W., & Motta Delgado, P. A. (2017). *Razas y cruces bovinos de doble propósito en el departamento de Caquetá* (M. Verde (ed.)).
- Mastrangelo, S., Ciani, E., Ajmone Marsan, P., Bagnato, A., Battaglini, L., Bozzi, R., Carta, A., Catillo, G., Cassandro, M., Casu, S., Ciampolini, R., Crepaldi, P., D'Andrea, M., Di Gerlando, R., Fontanesi, L., Longeri, M., Macciotta, N. P., Mantovani, R., Marletta, D., ... Pilla, F. (2018). Conservation status and historical relatedness of Italian cattle breeds. *Genetics Selection Evolution*, 50(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0406-x>
- McKay, S. D., Schnabel, R. D., Murdoch, B. M., Matukumalli, L. K., Aerts, J., Coppieters, W., Crews, D., Neto, E., Gill, C. A., Gao, C., Mannen, H., Stothard, P., Wang, Z., Van Tassell, C. P., Williams, J. L., Taylor, J. F., & Moore, S. S. (2007). Whole genome linkage disequilibrium maps in cattle. *BMC Genetics*, 8, 1–12. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-8-74>
- Naves, M., Laloe, D., Goudarzi, K., & Debus, A. (2005). Relaciones genéticas entre el bovino Criollo de Guadalupe y otras razas por marcadores bioquímicos. *Archivos de Zootecnia*, 54, 385–394.
- Neves, H. H. R., Desidério, J. A., Pimentel, E. C. G., Scalez, D. C. B., & Queiroz, S. A. (2015). Preliminary study to determine extent of linkage disequilibrium and estimates of autozygosity in Brazilian Gyr dairy cattle. *Archivos de Zootecnia*, 64(246), 99–108. <https://doi.org/10.21071/az.v64i246.383>
- Perdomo, D., Perea, F., Soto, E., Piña, J., Moratinos, P., Martínez, M., & Perea, M. (2017). Efecto de la raza paterna sobre el desempeño reproductivo de un rebaño de vacas mestizas doble propósito en Venezuela. *MASKANA, Producción Animal*, 1(1), 141–143. <https://cutt.ly/zEckFwC>
- Purcell, S., Neale, B., Todd-Brown, K., Thomas, L., Ferreira, M. A. R., Bender, D., Maller, J., Sklar, P., De Bakker, P. I. W., Daly, M. J., & Sham, P. C. (2007). PLINK: A tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. *American Journal of Human Genetics*, 81(3), 559–575. <https://doi.org/10.1086/519795>
- Qanbari, S. (2020). On the Extent of Linkage Disequilibrium in the Genome of Farm

-
- Animals. *Frontiers in Genetics*, 10(January), 1–11.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01304>
- R Core Team. (2021). *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org>
- Rosero Alpala, J. A., Rangel Garcia, W. D., Rojas Barreto, A., & Burgos-Paz, W. O. (2021). Contribución de los datos genómicos en la definición de la composición racial de bovinos doble propósito. *Rev Mex Cienc Pecu*, 12(4), 1008–1024. <https://doi.org/https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i4.5690>
- Raschia, M. A., & Poli, M. (2021). Phylogenetic relationships of Argentinean Creole with other Latin American Creole Cattle as revealed by a medium density Single Nucleotide polymorphism microarray. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 29(3–4), 91–100. <https://doi.org/10.53588/alpa.293402>
- Salem, M. M. I., Thompson, G., Chen, S., Beja-Pereira, A., & Carvalheira, J. (2018). Linkage disequilibrium and haplotype block structure in Portuguese holstein cattle. *Czech Journal of Animal Science*, 63(2), 61–69. <https://doi.org/10.17221/56/2017-CJAS>
- Selli, A., Bussiman, F. D. O., Souza, W. L. De, & Andrietta, L. T. (2021). *Perfis de corridas de homocigosidade e heterocigosidade em populações bovinas com diferentes combinações genóticas provenientes de dados simulados* (Issue December, pp. 231–254).
- Slatkin, M. (2016). and Mapping the Medical Future. *Nature Reviews Genetics*, 9(6), 477–485. <https://doi.org/10.1038/nrg2361.Linkage>
- Stephens, & Donnelly. (2000). *Structure*. <https://web.stanford.edu/group/pritchardlab/structure.html>
- Vanraden, P. M., & Cooper, T. A. (2015). Genomic evaluations and breed composition for crossbred U.S. dairy cattle. *Interbull Bulletin*, 49(49), 19–23.
- Wang, Y., Wu, X. L., Li, Z., Bao, Z., Tait, R. G., Bauck, S., & Rosa, G. J. M. (2020). Estimation of Genomic Breed Composition for Purebred and Crossbred Animals Using Sparsely Regularized Admixture Models. *Frontiers in Genetics*, 11(June), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00576>
- Zambrano, R., Santos, H., Contreras, R., Moreno, A., & Chirinos, Z. (2013). Características productivas de un rebaño mestizo bovino doble propósito comercial en Venezuela. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 3, 15–19.

Capítulo 4. Determinación de la influencia de factores no genéticos y genéticos sobre la variabilidad de las características de la leche y peso al nacimiento en la ganadería doble propósito de seis municipios del departamento de Norte de Santander.

4.1 Resumen

Las características productivas de los animales están influenciadas por diferentes factores no genéticos y genéticos, que luego de ser determinados pueden ayudar a predecir el valor productivo esperado de un animal y pueden ser utilizados como herramienta para el proceso de mejora ambiental y genética. El objetivo de este capítulo fue determinar la influencia de los factores no genéticos y genéticos sobre la variabilidad de las características de la leche y peso al nacimiento en la ganadería doble propósito de seis municipios del departamento de Norte de Santander. Se contó con el aval del Comité de Ética y Bioética en Investigación de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (CEBI –UFPSO) mediante Acta 001 de 2021. La información de caracterización fenotípica y genómica de individuos con información completa fue unificada obteniendo un total de información para 186 hembras y 141 crías. Los datos fueron analizados utilizando diferentes modelos y distribuciones con ayuda del programa R con el fin de determinar el ajuste más adecuado. Para las características producción de leche (PL), porcentaje de proteína (PP), porcentaje de grasa (PG) y recuento de células somáticas (RCS) se implementó una estrategia incremental para la construcción de los modelos con el fin de determinar a qué modelo se ajustaban mejor los datos. Fueron utilizados como criterios de selección la prueba de verosimilitud con $p < 0,0001$ para inferir que la inclusión de un nuevo parámetro tiene mejor explicación de la variable respuesta y menores valores para el

criterio de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) para inferir mejor ajuste del modelo. Para el caso de peso al nacimiento (PN) se implementó el procedimiento de *stepwise* y se evaluó un modelo lineal clásico. Luego de la obtención de los mejores modelos para cada característica se utilizó la función *predict* del programa R v 4.0.1 para predecir los valores esperados de los animales en futuros controles dependiendo de las condiciones genéticas y no genéticas presentes en cada animal. El modelo lineal generalizado mixto con distribución gamma fue el que mejor se ajustó a los datos para PL (AIC = 1687,30 y BIC = 1748,40), PP (AIC = 600,9 y BIC = 632,2) y RCS (AIC = 7051,77 y BIC = 7090,00). Para PG el mejor modelo fue el modelo lineal generalizado mixto con distribución inversa Gaussiana con un AIC de 394,30 y un BIC de 423,80. Finalmente para peso al nacimiento el modelo lineal clásico fue el seleccionado con un AIC de 983,10 y un BIC de 1001,86.

La producción de leche PL fue afectada por la proporción del componente racial taurino del animal, la hembra receptora, la región, el sistema productivo, la pastura, la época de control, la edad al primer parto y la condición corporal. Por su parte, la calidad composicional de la leche (proteína y grasa) estuvo influenciada por la región, la pastura y los días en leche para proteína; y por la hembra receptora, la región, la pastura y el sistema productivo para la grasa. El recuento de células somáticas fue influenciado por la región, la pastura, la época de control y los días en leche. Finalmente, el peso al nacimiento estuvo influenciado por la pastura y la época de nacimiento. Se logró identificar un modelo que se ajustó a los datos de cada característica y que a su vez permitió predecir los valores esperados para cada una de estas bajo diferentes condiciones no genéticas y genéticas, convirtiéndose en una herramienta de utilidad para los productores a la hora de tomar decisiones y generar estrategias de manejo en sus hatos.

4.2 Introducción

Las características productivas de los animales están influenciadas por diferentes factores no genéticos y genéticos. A nivel de la leche se han descrito diferentes factores que determinan su calidad nutricional e industrial. De esta manera, la leche que presente

mayores contenidos de sólidos totales, especialmente grasa y proteína aporta mayores nutrientes al consumidor y mejora sus propiedades organolépticas. Los principales factores que han sido descritos como causantes de variación en el volumen y calidad composicional de la leche, se pueden agrupar en factores genéticos, factores fisiológicos de la vaca, factores medio ambientales y factores nutricionales (Cerón-Muñoz & Correa, 2005; Carvajal & Kerr, 2015). Por su parte, para la calidad sanitaria de la leche se ha señalado que factores genéticos, factores medioambientales y factores inherentes a los microorganismos pueden causar variaciones en la presencia de recuento de células somáticas (Winston, 2018). Finalmente, el peso al nacimiento de la cría resulta fuertemente afectado por factores asociados a la madre y por factores genéticos (Chin Colli et al., 2012).

Rivera Rodríguez et al. (2009) observaron producciones de leche diarias promedio de 6,17 kg en época de invierno y de 4,04 kg en época de verano en animales de sistemas doble propósito encontrando diferencias entre épocas ($p < 0,05$). Mojica-Rodríguez et al. (2019) encontraron diferencias en el porcentaje de proteína y grasa en leche de vacas Gyr x Holstein, obteniendo valores de porcentaje de proteína en leche mayores para el pasto *Brachiaria híbrido* Mulato II (3,3 %), seguido de *Brachiaria brizantha* cv Toledo (3,28 %) y *Megathyrus maximus* cv. Tanzania (3,26 %), respectivamente. Y valores de porcentaje de grasa en leche mayores para el pasto *Megathyrus maximus* cv. Tanzania (4,70 %), seguido de *Brachiaria brizantha* cv Toledo (4,23 %) y *Brachiaria híbrido* Mulato II (4,17 %), respectivamente. Por su parte, Vásquez et al. (2012) encontraron recuentos de células somáticas que variaron entre 586 a 676 x 10³ cel/ml, siendo mayores en los meses de enero, febrero y abril y menores en septiembre, octubre y noviembre, sin diferencias entre el RCS y los meses evaluados. Finalmente, Álvarez et al. (2019) encontraron diferencias en los valores medios de peso al nacimiento para terneros nacidos en época de invierno (30,95 kg) y para terneros nacidos en verano (31,66 kg).

Durante mucho tiempo en los sistemas de lechería de Colombia se ha privilegiado el uso de biotipos o razas de animales que producen mayor leche por sobre aquellos que producen una concentración de grasa y proteína mayor y que presenten resistencia a la mastitis. Aunque la leche de los sistemas doble propósito en Colombia se caracteriza por

tener altos contenidos de proteína y grasa (3,35 % y 3,75 %) en comparación con la leche producida en lecherías especializadas (3,16 % y 3,63 %), aún se está por debajo de la calidad estándar considerada para la leche con valores de 3,3 % para proteína y de 4,0 % para grasa (Cerón-Muñoz & Correa, 2005). Sin embargo, cabe destacar que se han presentado tendencias a mejorar la calidad composicional de la leche sugiriendo que posiblemente las políticas de pago por calidad que se han implementado son efectivas para estimular la mejora (Carulla & Ortega , 2016; Gonzales, 2020). Con relación al recuento de células somáticas es poca la información nacional que se registra, pero se sugiere que los valores estarían entre 400.000 a 600.000 células/ml, muy por encima de lo que reportan referentes internacionales como Nueva Zelanda (185.000 células/ml), Uruguay (88 % < 400.000 células/ml) y Argentina (452.000) (González, 2020).

Mejorar los parámetros productivos en los sistemas doble propósito del país, depende en gran parte de la determinación correcta de los factores genéticos y no genéticos que influyen en el desempeño productivo del animal por medio de la implementación de modelos matemáticos que han sido una herramienta de suma importancia para la toma de decisiones en diferentes campos de desarrollo, incluido el sector agropecuario. Los modelos lineales clásicos (LM) han sido ampliamente utilizados para evaluar diferentes características de tipo productivo. Sin embargo, se ha descrito que la aplicación de LM no es apropiada para datos con medidas repetidas en el tiempo, puesto que en estos modelos existe la suposición de que las observaciones *yi* son independientes entre sí, y debido a que para las medidas repetidas se obtienen varias observaciones en un mismo sujeto (dependencia entre observaciones), se cae en el incumplimiento de los supuestos de independencia, normalidad, igualdad de varianzas y linealidad requeridos para su utilización. Cuando se desarrollan experimentos con medidas repetidas en el mismo sujeto o unidad experimental, no es posible aleatorizar el factor tiempo y las medidas realizadas podrían estar correlacionadas entre sí. Además, las varianzas de las medidas podrían cambiar con relación al tiempo. Estas situaciones generan deficiencias en la precisión y capacidad de predicción de los modelos que se ajustan a los supuestos clásicos. (González y López 2002 y Carrero et al. 2008). Debido a esto, se hace necesaria la implementación de modelos alternativos tales como los modelos lineales mixtos (Hernández & González, 2020), con los que se busca modelar la variable respuesta del

estudio en función de factores o covariables, cuyos efectos se consideran fijas o aleatorias (Molinero 2003) y que brindan la posibilidad de modelar la varianza de la variable en estudio y la correlación entre observaciones. Además, en casos en los que se trabajan con datos no normales y con medidas repetidas es posible implementar los modelos lineales generalizados mixtos (GLMMs), los cuales son una ampliación de los modelos lineales mixtos y permiten que la media de una población dependa de un predictor lineal a través de una función de enlace de tipo no lineal y que la distribución probabilística de la variable respuesta sea cualquiera de la familia exponencial.

La selección de un modelo adecuado que involucre los factores no genéticos y genéticos causantes de la variación en características relacionadas con la leche y el crecimiento se puede convertir en una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones en los hatos ya que permite la predicción de los posibles valores productivos de las vacas y los posibles pesos de las crías bajo diferentes escenarios ambientales (factores no genéticos) y genéticos. Con base en lo anterior, el objetivo de este capítulo fue determinar la influencia de los factores no genéticos y genéticos que causan variabilidad en las características de la leche y peso al nacimiento en la ganadería doble propósito de seis municipios del departamento de Norte de Santander.

4.3 Materiales y métodos

4.3.1 Población de estudio

Este estudio contó con el aval del Comité de Ética y Bioética en Investigación de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (CEBI –UFPSO) mediante Acta 001 de 2021. Para este estudio fueron seleccionadas 420 hembras con diferente composición racial preñadas con embriones 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y 5/8 Holstein x 3/8 Gyr; luego de la depuración de la información fenotípica, de acuerdo con calidad y cantidad (consistencia) de los datos, 186 hembras receptoras y 167 crías contaron con los criterios de inclusión para su evaluación. Dichas hembras y crías se encontraban en los municipios de Chinácota, El Tarra, El Zulia, Ocaña (embriones 1/2 Holstein x 1/2 Gyr), Arboledas y

Pamplona (embriones 5/8 Holstein x 3/8 Gyr), ubicados a alturas que van desde los 225 hasta los 2700 m.s.n.m, con temperaturas promedio que varían entre los 12°C hasta los 28°C y precipitaciones que varían entre los 921 y 2128 mm por año. Las pasturas predominantes en esos municipios son: Braquiaria (*Brachiaria decumbens*), Brizantha (*Brachiaria brizantha*), Elefante (*Pennisetum purpureum*), Kinggrass morado (*Pennisetum purpureum x Pennisetum typhoides*), Maralfalfa (*Pennisetum purpureum x Pennisetum glaucum*), Estrella (*Cynodon nlemfuensis*), Guinea (*Megathyrus maximus*), Angleton (*Dichanthium aristatum*) y Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

4.3.2 Datos

- Datos fenotípicos

Se obtuvo información de 186 hembras receptoras de primer parto y 167 crías nacidas entre noviembre del 2020 y mayo del 2021. Las características consideradas fueron: producción de leche (PL), porcentaje de grasa (PG), porcentaje de proteína (PP) y recuento de células somática (RCS) para las hembras receptoras; y peso al nacimiento (PN) para las crías. Toda la información fue depurada y analizada con el uso del programa R (R Core Team, 2021). Se eliminó información con valores fuera de los rangos biológicamente posibles, obteniéndose valores de PL entre 1,00 a 8,3 kg/día, PP entre 2,45 a 6,04 %, PG entre 1,94 a 6,0 %, RCS entre 8×10^3 cel/ml a 888×10^3 cel/ml y PN de 20 a 45 kg. De igual manera, para el caso de las hembras receptoras fueron consideradas aquellas que tuvieran información completa relacionada con pasturas a las que tenían acceso, sistema productivo, fecha de nacimiento, fecha de parto, fechas de control, días en leche, condición corporal y datos de PL, PP, PG y RCS. Para las crías se consideraron aquellas que tuvieran información relacionada con fecha de nacimiento, componente racial, edad de la madre al parto y peso al nacimiento. De acuerdo con la información depurada y revisada, se contó con un total de 584 datos para PL de 178 hembras, 644 datos para PP de 186 hembras, 197 datos para PG de 113 hembras, 517 datos para RCS de 183 hembras y 167 datos para PN.

Al igual que para el capítulo 2, los factores no genéticos fueron agrupados considerando que la región 1 (R1) comprendió los municipios de Arboledas y Pamplona, la región 2 (R2), El Zulia y Chinácota y la región 3 (R3) comprendió a El Tarra y Ocaña. Dicha conformación se realizó teniendo en cuenta condiciones climáticas similares y de composición racial de los embriones transferidos. Las épocas fueron creadas en base en la información de precipitación reportada para los seis municipios evaluados y se agruparon de la siguiente manera; verano 1 (diciembre, enero, febrero y marzo como V1), invierno 1 (abril, mayo y junio, I1), verano 2 (julio y agosto, V2), e invierno 2 (septiembre, octubre, noviembre, I2). Para la época de control (I2) y la época de nacimiento (V2) no se obtuvieron datos en el periodo de evaluación. De igual manera, las pasturas fueron agrupadas como se observa en la Tabla 2-1 del capítulo 2.

- Datos genómicos

Se usó la información de ancestría genética de 186 hembras receptoras para dos grupos genéticos agrupados como componente Cebú y Taurino europeo (HOL, JER, BSW) y de 141 crías para dos grupos genéticos agrupados como componente Gyr y Holstein. Esta información fue obtenida con base a los análisis desarrollados en el capítulo 3. Para el caso de las hembras receptoras fueron considerados dos de los tres grupos genéticos observados en el capítulo 3 para evitar problemas de multicolinealidad en la evaluación de los modelos.

4.3.3 Análisis de los datos

La información de caracterización fenotípica y genómica realizados en los capítulos 2 y 3 de este trabajo, fue unificada obteniendo un total de información para 186 hembras y 141 crías. Inicialmente se realizó un análisis exploratorio de cada característica con la finalidad de observar posibles relaciones entre las características de este estudio y los diferentes factores genéticos y no genéticos. Para el caso de los factores categóricos región (reg), sistema productivo (sp), pasturas (pst) y época de control (ec) y época de nacimiento (ec) se utilizaron gráficos de densidad; y para los factores cuantitativos condición corporal (CC), edad al primer parto (EPP), días en leche (DEL), componente genético taurino europeo

(CTE) y componente genético cebuino (CGC) se realizaron gráficos de tendencias. Solo los gráficos de los factores que resultaron significativos para cada característica serán mostrados.

Posteriormente, las características de producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas fueron sometidas a diferentes modelos y distribuciones con ayuda del programa R (R Core Team, 2021) con el propósito de determinar el mejor modelo en la descripción de la variabilidad de las características, conforme a la inclusión de nuevos parámetros. Para el caso del recuento de células somáticas se trabajó con las observaciones en la magnitud original y transformada utilizando la ecuación sugerida por Dabdoub and Shook (1984) (ver Ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

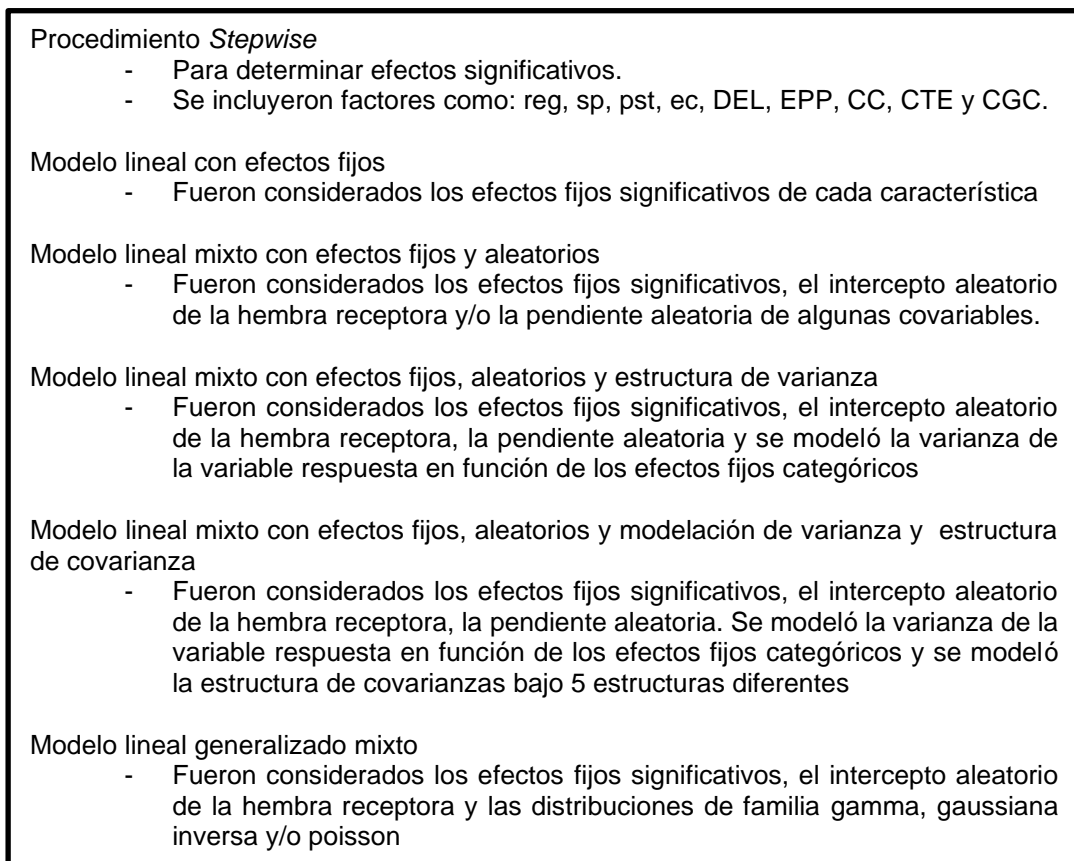
$$SCC = \log_2 \left(\frac{RCS}{100.000} \right) + 3 \quad (4.1)$$

Donde; SCC es el conteo de células somáticas como puntuación y RCS es el recuento de células somáticas en la magnitud original. En la Figura 4-1 se muestra de forma general como se desarrolló la estrategia incremental en la elección del modelo que mejor describía la variabilidad para cada una de las características analizadas.

Fueron utilizados como criterios de selección la prueba de verosimilitud con $p < 0,0001$ para inferir que la inclusión de un nuevo parámetro tiene mejor explicación de la variable respuesta; y menores valores para el criterio de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) para inferir mejor ajuste del modelo. Es decir, si, por ejemplo, en la comparación del modelo lineal con efectos fijos vs el modelo lineal con intercepto aleatorio de la hembra receptora, se obtenía en la prueba de verosimilitud un valor $p < 0,0001$ y menores valores de AIC y BIC para el modelo con inclusión de un parámetro más, se consideraba de mejor ajuste al modelo lineal con intercepto aleatorio tomándolo como base para la construcción del siguiente modelo. Si por el contrario en la comparación de estos modelos se obtenía un valor de p cercano a 1 y mayores valores de AIC y BIC para el modelo con inclusión de un nuevo parámetro se consideraba de mejor ajuste al modelo lineal con efectos fijos

tomándolo como base para la construcción del siguiente modelo. De esta manera, sobre el modelo con mejores valores de ajuste en cada comparación se iba agregando un nuevo parámetro. Para el caso del peso al nacimiento se evaluó el procedimiento de *stepwise* y el modelo lineal con efectos fijos. En el modelo lineal clásico y los modelos lineales mixtos se evaluaron los supuestos de homocedasticidad de varianzas ($p > 0,01$) y normalidad ($p > 0,01$) de los residuos, verificados por medio de las pruebas de Levene y Shapiro-Wilk, respectivamente.

Figura 4-1: Estrategia incremental utilizada para la evaluación de modelos en la descripción de la variabilidad de las características de producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas.



Fue utilizada una estrategia incremental sobre las características de la leche puesto que se ha descrito que la aplicación de modelos lineales clásicos no es apropiada en análisis

de medidas repetidas, dado que existe una suposición de que las observaciones y_i son independientes entre sí, y debido a que para estas características se obtuvieron varias observaciones en un mismo sujeto (dependencia entre observaciones), es necesario la implementación de modelos alternativos como los modelos lineales mixtos. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que cuando se trabaja con datos repetidos en el tiempo, estos pueden estar desbalanceados y pueden no seguir una distribución normal, siendo necesaria la implementación de modelos más complejos como los modelos lineales generalizados mixtos. Contrario a esto, la característica peso al nacimiento no fue evaluada bajo una estrategia incremental, debido a que presentó observaciones independientes, que generalmente se ajustan a una distribución normal.

Luego de la obtención de los mejores modelos para cada característica, se utilizó la función *predict* del programa R v 4.0.1 para predecir los valores esperados de los animales en futuros controles dependiendo de las condiciones genéticas y no genéticas presentes en cada animal (solo se presenta un ejemplo en particular para cada característica).

4.4 Resultados y discusión

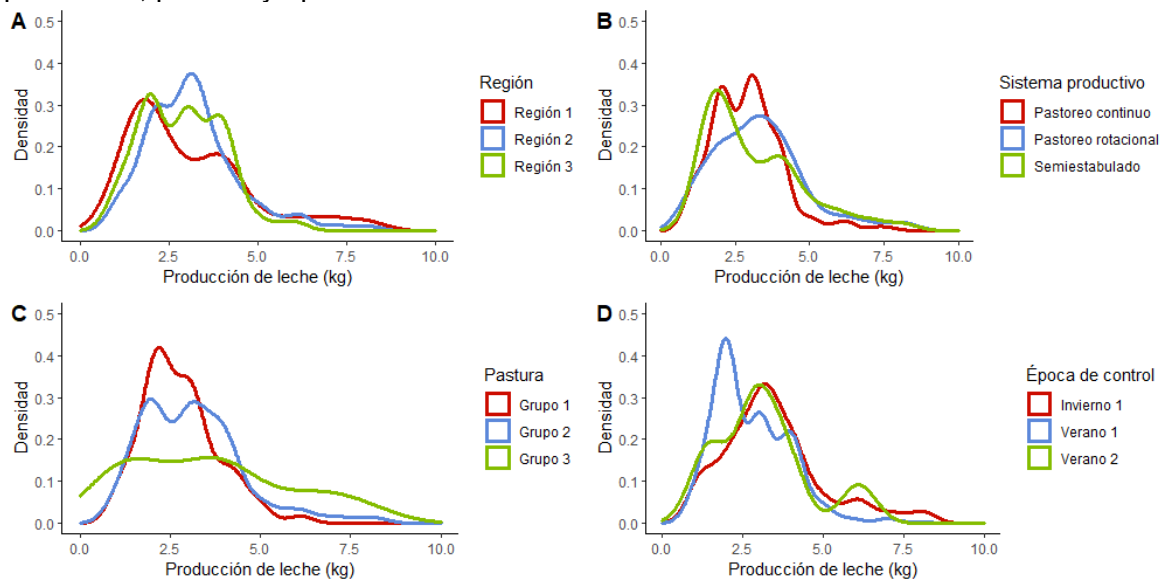
4.4.1 Producción de leche

- Análisis exploratorio para los efectos significativos

En la Figura 4-2 se muestra la densidad para la producción de leche poblacional diferenciando por la región, el sistema productivo, la pastura y la época de control. Se puede observar que los valores de producción de leche (PL) muestran picos diferentes dependiendo de la región (Figura 4-2 A), el sistema productivo (Figura 4-2 B), la pastura (Figura 4-2 C) y la época (Figura 4-2 D) en la que fue medida. Dicha situación deja ver que las producciones de leche en general son mayores para la región 2, el pastoreo rotacional, las pasturas del grupo 3 y la época de invierno 1. Por otro lado, es posible observar que, para todos los casos, la PL muestra marcados sesgos positivos, evidenciado en una mayor densidad de sucesos a la izquierda de la media que a la derecha. Por lo que, asumir que los datos se distribuyen de manera normal, no sería correcto siendo necesario la

verificación de los supuestos de normalidad de los residuos y en el caso del no cumplimiento la aplicación de otro tipo de distribuciones.

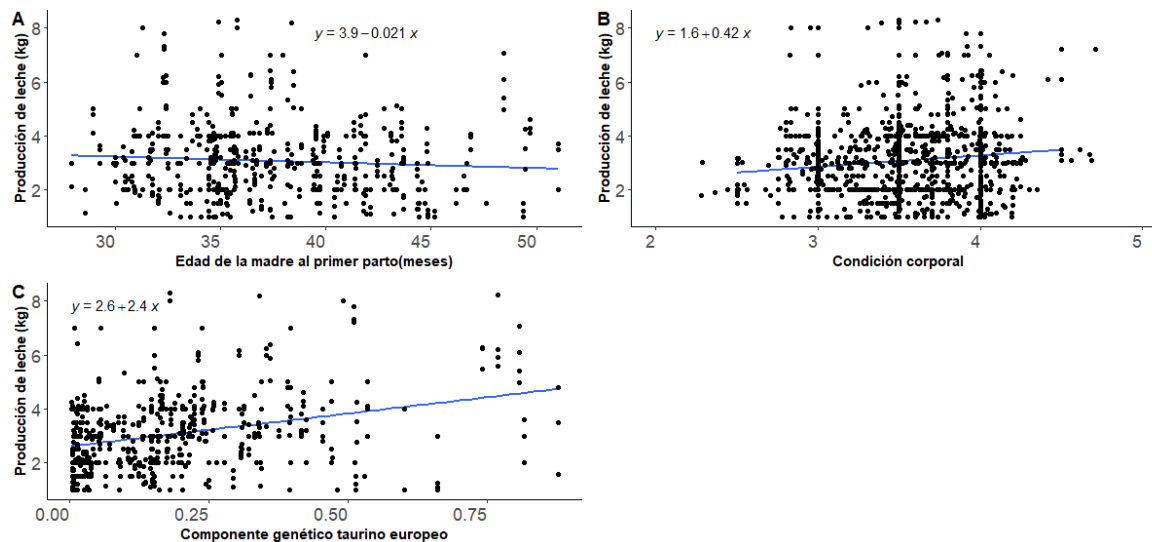
Figura 4-2: Densidad para la producción de leche general según la región, sistema productivo, pastura y época de control.



Región 1: Arboledas y Pamplona, Región 2: El Zulia y Chinácota, Grupo 1: predominio de Angleton y Guinea, Grupo 2: predominio de Braquiarias, Grupo 3: predominio de Kikuyo (revisar Tabla 2-1), Invierno 1: abril, mayo y junio, Verano 1: diciembre, enero, febrero y marzo, Verano 2: julio y agosto, CC: condición corporal, EPP: edad al primer parto, CTE: componente racial taurino europeo.

En la Figura 4-3 se representa la PL con relación a la edad al primer parto (EPP, Figura 4-3 A), la condición corporal (CC Figura 4-3 B) y el componente genético taurino europeo (CTE, Figura 4-3 C). Para el caso de la EPP se encontró una edad mínima de 27 meses y una máxima de 51 meses, permitiendo observar que a medida que la edad al parto de la vaca es mayor la PL se disminuye. Para la CC al momento del control se encontró un puntaje mínimo de 2,5 y un máximo de 4,5, observándose que a medida que aumenta la CC del animal la PL aumenta. Finalmente, el CTE estuvo entre 0,0 y 0,87 observándose que hay una tendencia que a medida que aumenta el componente taurino europeo en las vacas la PL aumenta.

Figura 4-3: producción de leche según edad al parto de la madre, condición corporal y componente genético taurino europeo.



Estos hallazgos son consecuentes con lo encontrado en el análisis de correspondencia desarrollado en el capítulo dos en el que se mostró que existieron asociaciones entre los diferentes niveles de PL (PL1, PL2 y PL3) respecto a los niveles de región, sistema productivo, pasturas, época de control, condición corporal y edad al primer parto.

Diferentes estudios han encontrado influencia de la zona y el tipo de sistema productivo ($p < 0,05$) sobre la PL en sistemas productivos doble propósito, encontrando que municipios con sistemas productivos bajo pastoreo rotacional presentaron mejores producciones de leche (Daza & Manrique, 2022). Así mismo, se ha encontrado influencia del tipo de pastura ($p < 0,05$) (Gutiérrez León et al., 2018) sobre la producción de leche ($p < 0,0001$) (Olarte-hurtado et al., 2022). Sheen & Riesco, (2002) señalan que la alimentación es uno de los principales factores que influyen en la producción de leche; cuando el valor nutritivo de los forrajes disminuye a causa de la madurez se reduce la calidad del forraje y se disminuye la digestibilidad, ya que se aumenta la cantidad de fibra cruda la cual repercute negativamente sobre la disponibilidad de proteína y energía de las pasturas, afectando la producción de leche. Otros estudios han encontrado influencia de la época sobre la PL (Petres et al., 2015; Castillo et al., 2017) y se ha mencionado que en las épocas secas o de verano se presenta una reducción en la calidad y cantidad de forraje, adicionalmente el

metabolismo de los animales se ve afectado debido a las temperaturas altas, mientras que en la época de invierno o lluviosa se presentan condiciones favorables en las que se da un incremento en la producción de forrajes y los animales no están expuestos al estrés calórico (Mejia et al., 2010) favoreciendo la producción de leche.

Por otro lado, en un estudio realizado en vacas Holstein en el que se evaluó el efecto de la EPP en la PL, se encontró que vacas que parieron entre los 20 y 21 meses produjeron menos leche durante toda su lactancia, mientras que las vacas que parieron entre 22 y 36 meses de edad produjeron cantidades similares de leche (Emmanuel Sessarego et al., 2019). A su vez, Sawa et al., (2019) evaluaron el efecto de la EPP sobre el rendimiento lechero en la primera lactancia, en la producción de leche de por vida y en la longevidad de las vacas, encontrando que efectivamente la edad al primer parto generó diferencias ($p < 0,01$), recomendando que las vacas deberían ser ordeñadas por primera vez entre los 22,1 y 26 meses de edad ya que se observó un 24 % más de producción de leche durante toda la vida en relación con vacas paridas a una edad mayor. De igual manera, estos autores encontraron que el comienzo tardío del primer ordeño (especialmente después de los 28 meses) genera una disminución importante en la producción de leche en la primera lactancia y en la producción de leche durante toda la vida, además de acortar el periodo productivo, el número de partos y aumentar la tasa de descartes debido a la baja producción de leche y a las enfermedades de la ubre.

Por su parte, Emam Gheise et al. (2017) evidenciaron que la producción de leche fue afectada por la condición corporal antes del parto, mostrando que vacas con mejor condición corporal, presentaron un nivel de producción de leche mayor. Sin embargo, Castro Alvarez et al., (2018) observaron que hembras con baja CC (1,5 en una escala de 1-5) al parto tienden a perder menos puntos de condición corporal, debido a que incrementan en menor tiempo el consumo de materia seca, permitiéndoles mantener e incrementar la PL, mientras que hembras con CC alta ($>3,0$), pierden mucho más rápido dicha CC acarreado problemas reproductivos y nutricionales.

Finalmente, Rojas Bastidas et al. (2019), observaron que el efecto del grupo racial fue altamente significativo ($p < 0,0001$) para la PL en animales doble propósito, encontrando mayores PL para animales con mayor e igual proporción Holstein seguidos por Pardo Suizo. De igual manera, Olarte-hurtado et al. (2022) encontraron que el tipo racial taurino presentó mayor producción de leche, en contraste, con animales F1.

- Selección del modelo

Los efectos que fueron significativos para producción de leche luego de aplicar el procedimiento *stepwise* fueron la región, el sistema productivo, la pastura, la época de control, la condición corporal, la edad al primer parto y el componente genético taurino europeo.

Se estudiaron diferentes modelos para la característica PL utilizando la estrategia incremental reportada en la Figura 4-1, donde se consideraron desde modelos lineales clásicos hasta modelos lineales generalizados mixtos. Las comparaciones iniciales se realizaron entre los modelos lineales clásicos (PL0) y los modelos lineales mixtos (PL1-PL4e) teniendo en cuenta la prueba de verosimilitud y los menores valores de AIC y BIC; bajo estas condiciones el modelo ganador fue el PL4c (Tabla 4-1) en el que se involucraron los siguientes parámetros; efectos fijos, intercepto aleatorio de la hembra receptora, varianza de la variable respuesta en función del sistema productivo y la estructura de autocorrelación de primer orden, en la que se asume que la correlación decae con el tiempo. Fueron evaluados los supuestos de normalidad de los residuos sobre estos modelos evidenciándose el no cumplimiento de estos. A partir de esto y al marcado sesgo positivo, evidenciado en una mayor densidad de sucesos a la izquierda de la media que a la derecha de los gráficos del análisis exploratorio (Figura 4-2), se decidió construir modelos lineales generalizados mixtos con distribución gaussiana inversa y gamma. Sin embargo, para el modelo con distribución gaussiana inversa los resultados obtenidos no se muestran debido a que se generaron problemas de convergencia en las estimativas y se ha descrito que modelos que no convergen no deben ser considerados en la comparación (Brooks et al., 2017). Dicha convergencia fallida generalmente se presenta por tratar de estimar parámetros para los cuales los datos no contienen información suficiente (Brooks et al., 2017).

Para el caso de los modelos lineales generalizados mixtos con distribución gamma se logró obtener estimativas sin problemas de convergencia, con lo cual fue posible comparar los modelos PL5a y PL5b con los mismos criterios que los modelos anteriores, encontrándose que el modelo que mejor explicó la variabilidad de la característica producción de leche fue el PL5b el cual incluyó los siguientes parámetros; efectos fijos, intercepto aleatorio de la hembra receptora y la función de enlace “log” para la familia con distribución gamma. Se ha descrito que para el caso de los modelos lineales generalizados mixtos es posible explicar la correlación existente entre las observaciones medidas en un mismo sujeto con la inclusión de los efectos aleatorios (Bolker et al., 2009; Bolker, 2015).

Tabla 0-1: Parámetros y valores de AIC y BIC para los modelos evaluados en la descripción de la variabilidad de la producción de leche.

Modelos	Efectos fijos	IA	PA	Var	Correlación	Familia	AIC	BIC	
LM	PL0	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	-	-	-	-	Normal	1965,44	2022,25
	PL1	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1 hr	-	-	-	Normal	1724,73	1785,62
LMM	PL2a	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1+ CC hr	-	-	-	Normal	1728,50	1798,09
	PL2b	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1+ EPP hr	-	-	-	Normal	1728,73	1798,32
	PL3a	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1 hr	-	-1 ec	-	Normal	1715,92	1785,50
	PL3b	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1 hr	-	-1 reg	-	Normal	1697,31	1766,90
	PL3c	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1 hr	-	-1 sp	-	Normal	1686,72	1756,31
	PL3d	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1 hr	-	-1 pst	-	Normal	1704,25	1773,83
	PL4a	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1 hr	-	-1 sp	corCompSymm(-1 hr)	Normal	1686,22	1760,15
	PL4b	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1 hr	-	-1 sp	corSymm(-1 hr)	Normal	1684,48	1797,57
	PL4c	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1 hr	-	-1 sp	corAR1(-1 hr)	Normal	1682,90	1756,86
	PL4d	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1 hr	-	-1 sp	corCAR1(-DEL hr)	Normal	1688,72	1762,66
	PL4e	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1 hr	-	-1 sp	corARMA(-1 hr)	Normal	1682,90	1761,14
GLMM	PL5a	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	--	-	-	-	Gamma	1908,90	1965,8
	PL5b	ec+reg+sp+pst+EPP+CC+CTE	1 hr	-	-	-	Gamma	1687,30	1748,40

IA: intercepto aleatorio, PA: pendiente aleatoria, Var: Varianza, ec: época de control, reg: región, sp: sistema productivo, pst; pastura, EPP: edad al primer parto, CC: condición corporal, CTE: componente taurino europeo, DEL: días en leche, hr: hembra receptora, corCompSymm: correlación de simetría compuesta, corSymm: correlación general, corAR1: autocorrelación de primer orden, corCAR1: autocorrelación de primer orden con covariable de tiempo continuo. Los valores en negrilla se corresponden con el modelo seleccionado.

Diferentes autores han trabajado con la inclusión de modelos lineales mixtos para evaluar la producción de leche cuando se tienen varias observaciones sobre el mismo sujeto. Hernández y González, (2020) desarrollaron un estudio en el que evaluaron la producción de leche de vacas Lucerna en Colombia utilizando modelos lineales mixtos bajo una estrategia incremental, encontrando que el mejor modelo fue aquel que incluyó los efectos fijos, el intercepto aleatorio de la vaca al momento del parto, la pendiente aleatoria para la

edad de la vaca y la varianza de la variable respuesta en función de la condición corporal. Estos autores concluyen que se asumió normalidad para la variable respuesta pero que sería posible para futuros trabajos usar modelos lineales mixtos en los cuales la variable respuesta siga una distribución diferente a la normal. Por otro lado, André, (2020) evaluó la producción de leche limitando el uso de suplementos en el Noreste de Uruguay, bajo diferentes modelos lineales mixtos y modelos lineales generalizados mixtos para las variables respuestas que presentaron medidas repetidas en el tiempo, encontrando que el mejor modelo para producción de leche fue aquel que incluyó los efectos fijos y el efecto anidado del animal como sujeto repetido a través de los n controles.

De igual manera, Hoyos-Rojas. et al. (2021) realizaron un estudio comparativo para evaluar la producción de leche en vacas Holstein pastoreando diferentes sistemas pastoriles, comparando más de 30 modelos mixtos aditivos generalizados que incluyeron diferentes familias de distribución como la normal, normal inversa, gamma, identidad gamma, gamma logarítmica, inversa gaussiana, etc. Encontraron que el mejor modelo para explicar la variabilidad de la característica producción de leche fue aquel que incluyó el efecto semiparamétrico de los días en leche, efectos fijos y el efecto aleatorio de la vaca en cada lactancia. Para la producción de leche en sistemas doble propósito se han realizado algunos trabajos en los que se ha evaluado la producción de leche en el trópico húmedo del Amazonas mediante el uso de modelos lineales mixtos en los que han considerado la inclusión de efectos fijos y del factor periodo y vaca como aleatorios (Álvarez et al., 2021).

- Aplicación del modelo final

El modelo seleccionado para modelar la característica producción de leche se expresa a continuación

$$\begin{aligned}
 y_{ij}|b_0 &\sim \text{Gamma}(\mu_{ij}, \phi) \\
 \log(\hat{\mu}_{ij}) &= 0,93 - 0,02ecv1_{ij} - 0,13ecv2_{ij} + 0,207reg2_{ij} + 0,066reg3_{ij} \\
 &\quad + 0,040sppr_{ij} + 0,1836spse_{ij} + 0,139pstg2 + 0,1136pstg3 \\
 &\quad - 0,018epp_{ij} + 0,115cc_{ij} + 0,52cte_{ij} + \tilde{b}_0i \\
 \hat{\phi} &= 0,069 \\
 b_0 &\sim N(0, \hat{\sigma}^2 b_0 = 0,1191)
 \end{aligned}$$

Con dicho modelo y su aplicación en R por medio de la función *predict* fue posible predecir la producción de leche que se esperaría de una vaca en su siguiente control, dependiendo de las condiciones genéticas y no genéticas presentes en esta. La ampliación de este ejercicio sobre el total de hembras evaluadas se convierte en una herramienta de mucha utilidad para los productores. La predicción de la producción de leche evaluando los diferentes escenarios posibles, permite al productor desarrollar un plan de manejo adecuado y decidir que vacas deben permanecer en el hato y cuales deben ser descartadas para la próxima lactancia. En la Tabla 4-2 se presenta la producción de leche esperada para las vacas 019 y 437 para las que se tienen edades al primer parto y componente taurino europeo diferentes y que fueron evaluadas en dos épocas de control y con dos condiciones corporales diferentes.

Tabla 0-2: Producción de leche estimada para las vacas 019 y 437 que experimentarían diferentes condiciones genéticas y no genéticas.

HR	Región	Sistema productivo	Pastura	Época de control	CC	EPP	CTE	PL estimada (kg)
019	Región 2	PC	Grupo 2	Verano 2	2,5	39,9	0,18	2,85
				Invierno 1				3,25
				Verano 2	4,5			3,59
				Invierno 1				4,09
437	Región 2	PC	Grupo 2	Verano 2	2,5	36,4	0,74	4,23
				Invierno 1				4,83
				Verano 2	4,5			5,33
				Invierno 1				6,08

HR: Hembra receptora, Región 2: El Zulia y Chinácota, PC: Pastoreo continuo, Grupo 2: Predominio de Braquiarias (revisar Tabla 2-1), Verano 2: julio y agosto, Invierno 1: abril, mayo y junio, CC: condición corporal, EPP: edad al primer parto, CTE: componente racial taurino europeo, PL: producción de leche.

Es posible observar en la Tabla 4-2 la influencia que tiene la época de control, la condición corporal (CC), la edad al primer parto (EPP) y el componente racial taurino europeo (CTE) sobre la producción de leche (PL) para el caso de las vacas 019 y 437. En general, se espera mayor PL en las épocas de invierno, bajo una condición corporal más favorable, con edades al primer parto más tempranas y un componente racial taurino europeo mayor. Las épocas del año juegan un papel importante en la expresión de diferentes características productivas, tales como la producción de leche. Generalmente, las épocas

de invierno expresan condiciones favorables para la productividad del ganado, situación contraria ocurre en las épocas de verano donde las temperaturas pueden incrementar y generar estrés calórico en los animales, especialmente en aquellos con un componente racial taurino mayor. Bajo esta situación, los animales deben pensar en diferentes estrategias para mantener su condición homeotérmica, como la reducción del consumo de alimento y la redistribución de la energía para generar mecanismos que le permitan termorregular, lo que conlleva a una disminución de la disponibilidad de energía para el proceso de galactogénesis y consecuentemente a una disminución en la producción de leche (Ganaie et al., 2013). Anzures-Olvera et al. (2015) evaluaron el efecto de la época del año sobre la producción de leche en vacas Holstein, encontrando que en época de verano la producción de leche se redujo en más del 50 % ($p < 0,05$) con valores de 15,96 kg en época de verano y 34,07 kg en época de invierno. Por su parte, Rivera Rodríguez et al., (2009) observaron producciones de leche diarias promedio de 6,17 kg en época de invierno y de 4,04 kg en época de verano. De igual manera, Alonso-Vázquez et al. (2017) encontraron menores producciones de leche día en las épocas de menos lluvia con valores de 6,92 kg y mayores producciones en épocas lluvia con valores de 9,20 kg.

Por su parte, para la CC se ha descrito que vacas en sistemas doble propósito en sus primeros 100 a 120 días de lactancia deberían tener valores de CC entre 2,5 a 3,0 (Román et al., 2009). De igual manera, se han encontrado estudios en los que se ha observado una correlación alta ($r = 0,90$) y positiva entre la producción de leche promedio por día y la CC de vacas con diferente composición de Lucerna (Hernández & González, 2020). Sin embargo, en un estudio desarrollado en india por Paul et al. (2019) en vacas mestizas Jersey, los autores observaron una correlación baja y no significativa entre el puntaje de CC y la producción de leche, a pesar de que las vacas del grupo con mayor CC fueron las que mostraron una mayor producción de leche, a su vez, este mismo grupo perdió peso y condición corporal mucho más rápido debido a un mayor gasto de energía metabólica y a una mayor movilización de grasa para la producción de leche. Para la EPP se han reportado PL diarias de 18,1 kg para edades menores a 22 meses, de 19,6 kg para edades entre 22,1 y 24 meses, de 20,4 para edades entre 24,1 a 28 meses, de 19,9 kg para edades entre los 28,1 a 30 meses, de 19,5 kg para edades entre 30,1 a 32 meses y de 18,7 kg

para edades mayores a 32 meses en vacas Holstein (Sawa et al., 2019), mostrando valores más bajos de PL en las vacas con EPP muy tempranas y tardías.

Finalmente, el componente racial taurino juega un papel muy importante en la PL. En un estudio realizado por Rojas Bastidas et al. (2019) en un sistema doble propósito, los autores encontraron que el efecto del grupo racial fue altamente significativo y que vacas con mayor e igual proporción cebú presentaron producciones de leche menores, ajustadas a 244 días con valores de 1.498,03 kg, mientras que vacas con mayor e igual proporción Holstein presentaron las mayores producciones de leche ajustadas a 244 días con valores de 1.805,09 kg seguidas por las de mayor o igual proporción Pardo Suizo con valores de 1.751,94 kg. Por su parte, Ordaz et al. (2009) evaluaron el efecto lineal y cuadrático del porcentaje de genes *Bos Taurus* (BT) sobre la producción de leche total y diaria, encontrando que vacas con 78 % de genes BT tuvieron PL total más altas (2.898 kg) comparado con vacas con 0, 25, 50, 62,5 y 75 % de genes BT. Un comportamiento similar fue observado para la producción de leche diaria, la cual se incrementó a medida que el porcentaje de genes BT aumentó, alcanzando un valor máximo de 9,8 kg para vacas con 70,3 % de genes BT. Parte de las diferencias entre genotipos se atribuyen a efectos complementarios de los genes heredados de las razas parentales. De esta manera, los animales BT transmiten a la progenie cruzada la habilidad para mejorar el metabolismo de los nutrientes, mientras que los *Bos indicus* (BI) transmiten información de adaptación al ambiente tropical (Ordaz et al., 2009). Sin embargo, Magaña Monforte et al. (2016) no encontraron diferencias en la PL diaria de vacas 50 % Holstein vs vacas 75 % Holstein con valores de 6,92 kg y 6,71 kg, respectivamente.

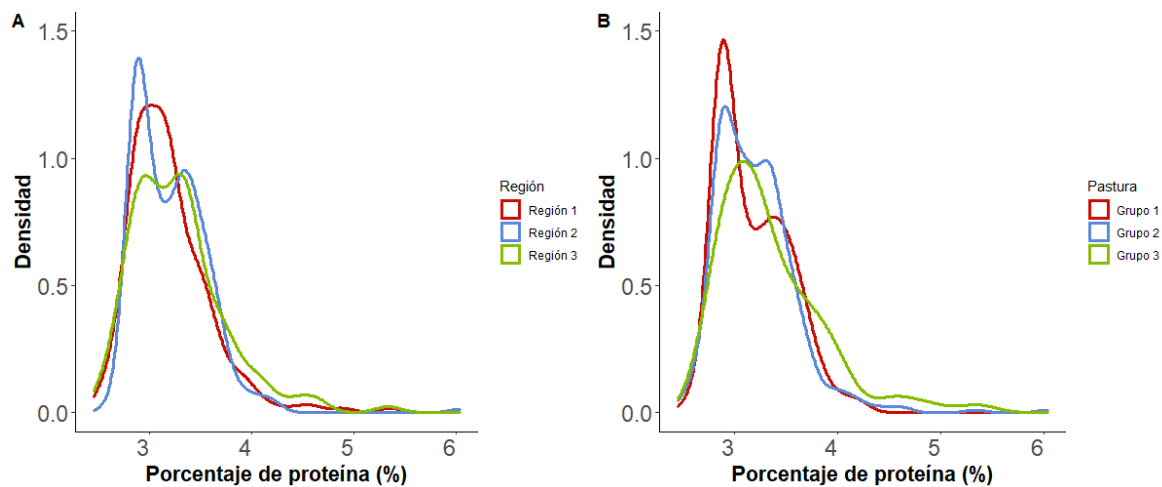
4.4.2 Porcentaje de proteína

- Análisis exploratorio para los efectos significativos

En la Figura 4-4 se muestra la densidad para el porcentaje de proteína (PP) poblacional, diferenciando por la región (Figura 4-4 A) y la pastura (Figura 4-4 B), indicando picos diferentes del PP en relación con estos dos factores. Dicha situación deja ver que los PP

parecen ser mayores para la región 3 y las pasturas del grupo 3. Por otro lado, es posible observar que, para todos los casos, el PP muestra marcados sesgos positivos, evidenciado en una mayor densidad de sucesos a la izquierda de la media que a la derecha, situación similar a la presentada con la producción de leche.

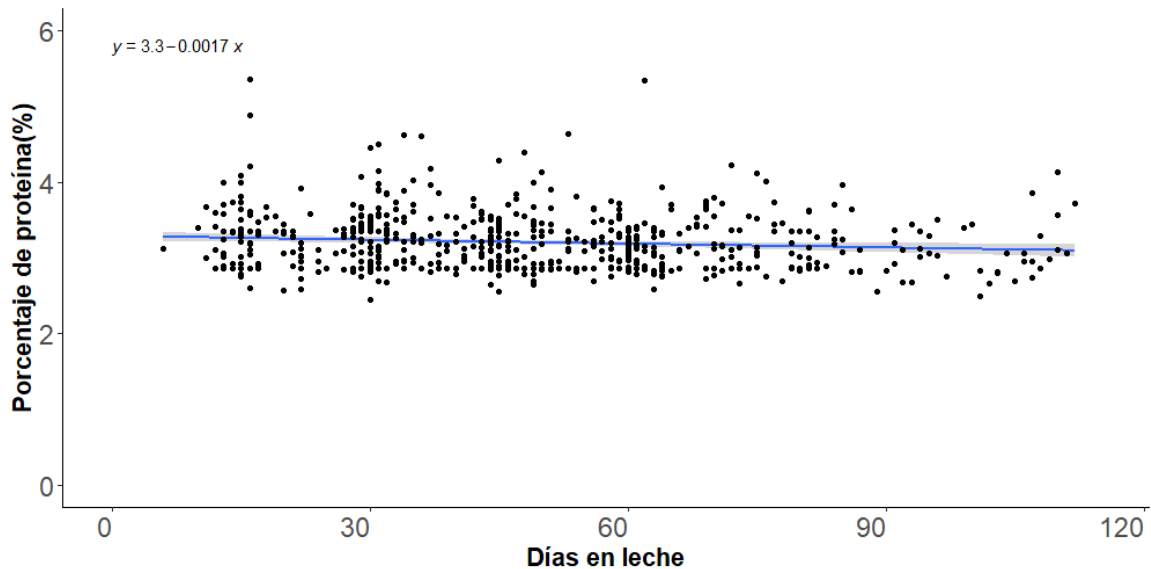
Figura 4-4: Densidad para el porcentaje de proteína según la región y la pastura.



Región 1: Arboledas y Pamplona, Región 2: El Zulia y Chinácota, Grupo 1: predominio de Angleton y Guinea, Grupo 2: predominio de Braquiarias, Grupo 3: predominio de Kikuyo (revisar Tabla 2-1)

Con relación al PP respecto a los días en leche (DEL), se tuvo un valor mínimo de 6 días y un máximo de 105 días, permitiendo observar que existe una leve tendencia en la que a medida que aumentan los días en leche de la vaca el PP disminuye (Figura 4-5).

Figura 4-5: Relación del porcentaje de proteína con los días en leche



El componente genético taurino europeo no fue significativo para la característica porcentaje de proteína, a pesar de que se ha descrito que alrededor del 60 % de la variación de los componentes de la leche son heredables, y por tanto dependen de factores genéticos. A nivel de grasa y proteína se ha evidenciado que existen diferencias entre razas y/o biotipos, e incluso dentro de cada raza diferencias entre los individuos (Kelsey et al., 2003). Así mismo, otros autores han señalado que las proteínas y los ácidos grasos de la leche presentan una heredabilidad de baja a moderada magnitud pudiéndose alterar la composición mediante programas de selección genética (Bittante et al., 2014). Contrario a esto, Melo et al. (2015) desarrollaron un estudio en el que se evaluó la influencia del componente racial de vacas primíparas 1/2 Holstein x 1/2 Gyr, 3/4 Holstein x 1/4 Gyr y 7/8 Holstein x 1/8 Gyr sobre la calidad composicional de la leche, encontrando que no hubo diferencias significativas del componente racial sobre las características de calidad composicional de la leche. De igual manera, Rodríguez et al. (2015) no encontraron diferencias ($P > 0,05$) entre el tipo racial Holstein y Normando con respecto al porcentaje de proteína.

Por otro lado y con relación a los factores no genéticos que también juegan un papel importante en la expresión de características de calidad de la leche, se han desarrollado

diferentes estudios que han evaluado la influencia del tipo de pastura sobre el porcentaje de proteína en leche tanto en sistemas de lechería especializada (Mojica et al., 2009; Mendoza et al., 2011; Hoyos-Rojas. et al., 2021) como en sistemas doble propósito. Encontrando en estos últimos diferencias ($p < 0,05$) en el porcentaje de proteína de las vacas sometidas a tres especies de pasturas diferentes, *Megathyrus maximus* cv. Tanzania, *Brachiaria híbrido* cv. Mulato II y *Brachiaria brizantha* cv. Toledo (Mojica-Rodríguez et al., 2019). Contrario a esto Mojica-Rodríguez & Burbano-Erazo, (2020) no encontraron diferencias ($p > 0,05$) en la porcentaje de proteína de vacas Costeño con Cuernos y Gyr x Holstein alimentadas con dos pasturas diferentes; *Megathyrus maximus* Agrosavia Sabanera y *Megathyrus maximus* cv. Tanzania. Por su parte, los días en leche han sido utilizados para modelar las curvas de porcentaje de proteína y diversos autores han encontrado una relación inversa en las curvas de producción de leche con relación al porcentaje de proteína (Madrid et al., 2020; Hoyos-Rojas. et al., 2021). Sin embargo, Cañas et al., (2011) encontraron que el porcentaje de proteína permanece constante luego del pico de lactancia.

- Selección del modelo

Los efectos no genéticos y genéticos que fueron significativos para porcentaje de proteína luego de aplicar el procedimiento *Stepwise* fueron la región, la pastura, y los días en leche. Estos hallazgos muestran algunas diferencias con lo encontrado en el análisis de correspondencia del capítulo dos, ya que para este caso no se encontraron asociaciones con relación a la región y la época de control, pero si para las pasturas y los días en leche.

Se realizaron las comparaciones entre los diferentes modelos construidos para el porcentaje de proteína en leche. Inicialmente, se realizaron las comparaciones entre los modelos lineales clásicos (PP0) y los modelos lineales mixtos (PP1-PP4e) teniendo en cuenta la prueba de verosimilitud y los menores valores de AIC y BIC. Bajo estas condiciones el modelo ganador fue el PP3b (Tabla 4-3) en el que se involucraron los siguientes parámetros; efectos fijos, intercepto aleatorio de la hembra receptora y varianza de la variable respuesta en función de la pastura. Fueron evaluados los supuestos de normalidad de los residuos sobre estos modelos evidenciándose el no cumplimiento de estos. Conforme a lo anterior y con base en lo observado en el análisis exploratorio con

relación al marcado sesgo positivo, evidenciado en una mayor densidad de sucesos a la izquierda de la media que a la derecha en los gráficos de porcentaje de proteína vs los efectos fijos categóricos (Figura 4-4), se decidió construir modelos lineales generalizados mixtos con distribución gaussiana inversa y gamma. Sin embargo, al igual que con la producción de leche, el modelo con distribución gaussiana inversa presentó problemas de convergencia. Para el caso de los modelos lineales generalizados mixtos con distribución gamma se logró obtener estimativas sin problemas de convergencia, con lo cual fue posible comparar los modelos PP5a y PP5b con los mismos criterios que los modelos anteriores. Se encontró que el modelo que mejor explicó la variabilidad de la característica porcentaje de proteína fue el PP5a el cual incluyó los siguientes parámetros; efectos fijos y la función de enlace “log” para la familia con distribución gamma.

Tabla 0-3: Parámetros y valores de AIC y BIC para los modelos evaluados en la descripción de la variabilidad del porcentaje de proteína.

Modelos	Efectos fijos	IA	PA	Var	Correlación	Familia	AIC	BIC	
LM	PP0	reg+pst+DEL	-	-	-	-	Normal	660,42	691,63
LMM	PP1	reg+pst+DEL	1 hr	-	-	-	Normal	662,42	698,09
	PP2a	reg+pst+DEL	1+DEL hr	-	-	-	Normal	666,42	711,01
	PP3a	reg+pst+DEL	1 hr	-	~1 reg	-	Normal	655,84	700,42
	PP3b	reg+pst+DEL	1 hr	-	~1 pst	-	Normal	651,82	696,40
	PP4a	reg+pst+DEL	1 hr	-	~1 pst	corCompSymm(~1 hr)	Normal	662,58	702,70
	PP4b	reg+pst+DEL	1 hr	-	~1 pst	corSymm(~1 hr)	Normal	671,41	751,66
	PP4c	reg+pst+DEL	1 hr	-	~1 pst	corAR1(~1 hr)	Normal	664,42	704,55
	PP4d	reg+pst+DEL	1 hr	-	~1 pst	corCAR1(~DEL hr)	Normal	657,22	692,89
	PP4e	reg+pst+DEL	1 hr	-	~1 pst	corARMA(~1 hr)	Normal	662,75	707,33
GLMM	PP5a	reg+pst+DEL	--	-	-	-	Gamma	600,9	632,2
	PP5b	reg+pst+DEL	1 hr	-	-	-	Gamma	602,90	638,60

LM: modelo lineal, LMM: Modelo lineal mixto, GLMM: Modelo lineal generalizado mixto, IA: intercepto aleatorio, PA: pendiente aleatoria, Var: Varianza, reg: región, pst; pastura, DEL: días en leche, hr: hembra receptora, corCompSymm: correlación de simetría compuesta, corSymm: correlación general, corAR1: autocorrelación de primer orden, corCAR1: autocorrelación de primer orden con covariable de tiempo continuo. Los valores en negrilla se corresponden con el modelo seleccionado.

El uso de modelos lineales mixtos y modelos línea mixtos generalizados se ha ampliado al sector agropecuario, porque se han reconocido las grandes ventajas que implican su uso. Rossi et al. (2012) evaluaron el porcentaje de proteína en leche de vacas Holstein utilizando modelos lineales generalizados mixtos con la inclusión de efectos fijos, considerando al animal y los días en lactancia como efectos aleatorios e incluyendo una

distribución binomial negativa para la variable respuesta, por tratarse de datos que presentan sobre dispersión, encontrando que la proteína de la leche aumentaba a medida que pasaban los días en leche. Por su parte, en un estudio realizado para evaluar el efecto de un suplemento mineral en la variable respuesta porcentaje de proteína en vacas Holstein lactantes los autores utilizaron un modelo lineal mixto con inclusión de efectos fijos, efecto aleatorio de hato y una estructura de correlación de primer orden, no encontrando influencia de estos factores sobre el porcentaje de proteína (Machado et al., 2013). De igual manera, Hoyos-Rojas. et al. (2021) realizaron un estudio comparativo para evaluar porcentaje de proteína en vacas Holstein y encontraron que el mejor modelo para explicar la variabilidad de esta característica fue aquel que incluyó el efecto semiparamétrico de los días en leche, los efectos fijos, el efecto aleatorio de la vaca en cada lactancia y la distribución gaussiana inversa con correlación autorregresiva de primer orden.

- Aplicación del modelo final

El modelo seleccionado para modelar la característica porcentaje de proteína se expresa a continuación.

$$\begin{aligned}
 y_{ij} & \sim \text{Gamma}(\hat{\mu}_{ij}, \hat{\phi}) \\
 \log(\hat{\mu}_{ij}) & = 1,16 + 0,026\text{reg}2_{ij} + 0,06\text{reg}3_{ij} + 0,009\text{pst}g2 \\
 & \quad + 0,07\text{pst}g3 - 0,00059\text{del}_{ij} \\
 \hat{\phi} & = 0,0133
 \end{aligned}$$

Al igual que con la característica producción de leche, dicho modelo puede ser aplicado en R por medio de la función *predict* para predecir el porcentaje de proteína que se esperaría de una vaca en su siguiente control, dependiendo de las condiciones no genéticas presentes en esta. En la Tabla 4-4 se presenta el porcentaje de proteína esperado para cualquier vaca en los controles 15 a 60, bajos dos regiones y dos grupos de pasturas diferentes.

Tabla 0-4: Porcentaje de proteína estimado para un animal que experimentaría diferentes condiciones genéticas y no genéticas.

Región	Pastura	DEL	PP estimada (%)
Región 2	Grupo 2	15	3,26
	Grupo 3		3,48
	Grupo 2	30	3,23
	Grupo 3		3,45
	Grupo 2	45	3,20
	Grupo 3		3,42
	Grupo 2	60	3,18
	Grupo 3		3,39
Región 3	Grupo 2	15	3,36
	Grupo 3		3,59
	Grupo 2	30	3,33
	Grupo 3		3,56
	Grupo 2	45	3,30
	Grupo 3		3,53
	Grupo 2	60	3,27
	Grupo 3		3,49

Región 2: Chinácota y El Zulia, Región 3: El Tarra y Ocaña, Grupo 1: Angleton, Guinea, Estrella, etc. Grupo 2: predominio de Braquiarias, Grupo 3: predominio de Kikuyo (para los pastos revisar Tabla 2-1) DEL: días en leche, PP: porcentaje de proteína.

Es posible observar en la Tabla 4-4 la influencia que tienen los días en leche, la región y el tipo de pastura sobre el porcentaje de proteína. En general, para el ejemplo plasmado, se espera mayor porcentaje de proteína (PP) en la región 3, bajo pasturas del grupo 3 y se espera una disminución del PP a medida que aumentan los días en leche. La principal fuente para la formación de proteína en leche es la proteína ingerida por el animal (Castillo-Umaña et al., 2020). En un estudio realizado sobre los forrajes presentes en las fincas evaluadas en este trabajo, se encontraron mejores valores de proteína cruda para el pasto Kikuyo (12,84 %), seguido por Estrella (10,89 %), Brachiaria (9,95 %), Brizantha (9,85 %), Decumbens (8,33 %), Angleton (8,18 %), Maralfalfa (7,66 %), Guinea (7,16 %), Kingrass (6,00 %) y Elefante (5,80 %), respectivamente (Naranjo et al, 2023).

En la lechería especializada de Colombia se ha evaluado el efecto que presenta la oferta forrajera sobre la producción y la calidad composicional de la leche en animales Holstein, alimentados con kikuyo. Escobar y Carulla (2003) observaron un aumento en la producción

de leche por vaca día de 21,8 % y 22,4 % y un aumento en la concentración de proteína en leche de 14 % y 21 % al cambiar la oferta forrajera de 3 a 5 kg y de 3 a 7 kg de MS/ 100 kg de peso vivo (PV), respectivamente.

Mojica-Rodríguez et al. (2019) encontraron diferencias ($p < 0,05$) en el PP en leche de vacas Gyr x Holstein sometidas a tres tipos de gramíneas diferentes, obteniendo valores de porcentaje de proteína en leche mayores para el pasto *Brachiaria híbrido* Mulato II (3,3 %), seguido de *Brachiaria brizantha* cv Toledo (3,28 %) y Tanzania (3,26 %), respectivamente. Sin embargo, Mojica-Rodríguez & Burbano-Erazo, (2020) reportaron valores iguales de PP de 3,3 % para vacas Gyr x Holstein e iguales de 3,5 % para vacas Costeño con Cuernos bajo las pasturas *Megathyrus maximus* Agrosavia Sabanera y *Megathyrus maximus* cv. Tanzania no encontrando diferencias ($p > 0,05$) en el PP en leche producida bajo las dos pasturas. Con relación a los días en leche Mojica-Rodríguez et al. (2019) evaluaron la calidad composicional de la leche en vacas Gyr x Pardo Suizo en el primer, segundo y tercer tercio de lactancia encontrando valores de PP en leche de 3,29 %, 3,28 % y 3,31 %, no encontrando diferencias ($p > 0,05$) entre los tres periodos evaluados. La disminución del PP a medida que aumentan los días en leche puede deberse a la relación inversa que guardan la PL y el PP. Se ha observado por medio del estudio de curvas de lactancia este comportamiento, señalando que puede estar relacionado con el efecto que tiene la lactosa, la cual necesita de menor energía para sintetizarse en comparación con los compuestos lipídicos y especialmente los proteicos, lo que se traduce en mayor síntesis de lactosa que genera a su vez mayor volumen de leche, resultando en la dilución de los compuestos grasos y proteicos (Humberto T., 2014)

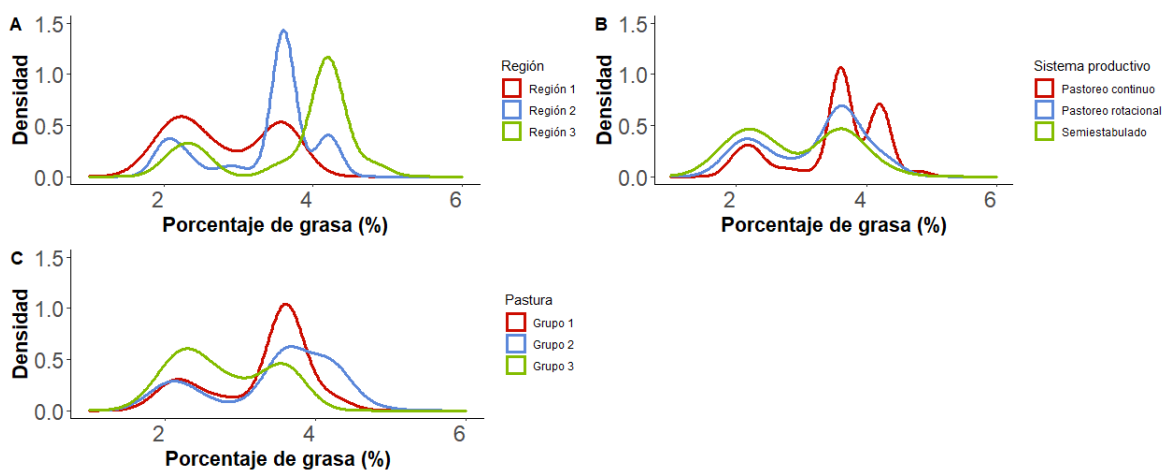
4.4.3 Porcentaje de grasa

- Análisis exploratorio para los efectos significativos

En la Figura 4-6 se muestra la densidad para el porcentaje de grasa (PG) por animal, diferenciando por la región (Figura 4-6 A), el sistema productivo (Figura 4-6 B) y la pastura (Figura 4-6 C). Se puede observar que los valores de porcentaje de grasa muestran picos diferentes dependiendo de la región, el sistema productivo y la pastura. Dicha situación deja ver que los porcentajes de grasa parecen ser mayores para la región 3, el pastoreo

continuo y el grupo 2 de pasturas. Por otro lado, es posible observar que, a diferencia de la producción de leche y el porcentaje de proteína, la grasa muestra un comportamiento con la formación de diferentes picos muy marcados y no se evidencia un sesgo positivo.

Figura 4-6: Densidad para el porcentaje de grasa según la región, la pastura y el sistema productivo.



Región 1: Arboledas y Pamplona, Región 2: El Zulia y Chinácota, Grupo 1: predominio de Angleton y Guinea, Grupo 2: predominio de Braquiarias, Grupo 3: predominio de Kikuyo (revisar Tabla 2-1).

El componente genético taurino europeo no fue significativo para la característica porcentaje de grasa, a pesar de que se ha señalado que el 55 % de la variación en la composición de la leche se debe a factores genéticos, mientras que el 45 % restante se debe a la variación en el medio ambiente y a cambios de tipo fisiológico en las vacas (Cerón-Muñoz. & Correa, 2005). Dentro de los aspectos genéticos que tienen gran importancia están la raza y la variabilidad genética entre individuos de la misma raza (Kelsey et al., 2003). Dichas diferencias genéticas ofrecen la oportunidad de mejorar la composición de la leche por medio del mejoramiento genético (Bittante et al., 2014). Sin embargo, Melo et al. (2015) desarrollaron un estudio en el que evaluaron la influencia del componente racial de vacas primíparas 1/2 Holstein x 1/2 Gyr, 3/4 Holstein x 1/4 Gyr y 7/8 Holstein x 1/8 Gyr sobre el porcentaje de grasa encontrando que no hubo diferencias significativas del componente racial sobre dicha característica. De igual manera, Rodríguez et al. (2015) no encontraron diferencias ($P > 0,05$) entre el tipo racial Holstein y Normando

con respecto al porcentaje de grasa. Al igual que para el porcentaje de proteína, diferentes estudios han evaluado la influencia del tipo de pastura sobre el porcentaje de grasa en leche tanto en sistemas de lechería especializada (Mojica et al., 2009; Mendoza et al., 2011; Hoyos-Rojas. et al., 2021) como en sistemas doble propósito donde se encontraron diferencias en el porcentaje de grasa de vacas alimentadas con tres pasturas diferentes; Tanzania (*Megathyrus maximus* cv. Tanzania), Mulato II (*Brachiaria híbrido* cv. Mulato II) y Toledo (*Brachiaria brizantha* cv. Toledo) (Mojica-Rodríguez et al., 2019). Sin embargo, Mojica-Rodríguez & Burbano-Erazo, (2020) no encontraron diferencias ($p > 0,05$) en el porcentaje de grasa de vacas Costeño con Cuernos y Gyr x Holstein alimentadas con dos pasturas diferentes; *Megathyrus maximus* Agrosavia Sabanera y *Megathyrus maximus* cv. Tanzania.

- Selección del modelo

Los efectos no genéticos y genéticos significativos para porcentaje de grasa en leche luego de aplicar el procedimiento *stepwise* fueron; la región, la pastura, y el sistema productivo. Estos hallazgos son congruentes con lo encontrado en el análisis de correspondencia donde se encontraron asociaciones de los diferentes grupos de PG (PG1, PG2, PG3) respecto a los efectos región, sistema productivo y pasturas.

Para la comparación de los diferentes modelos construidos para el porcentaje de grasa en leche inicialmente, se realizaron las comparaciones entre los modelos lineales clásicos (PG0) y los modelos lineales mixtos (PG1-PG4e) teniendo en cuenta la prueba de verosimilitud y los menores valores de AIC y BIC. Bajo estas condiciones el modelo ganador fue el PG4b con un menor valor de AIC y un valor un poco más alto que los otros modelos para el BIC (Tabla 4-5) y en el que se involucraron los siguientes parámetros; efectos fijos, intercepto aleatorio de la hembra receptora y estructura de correlación general. Fueron evaluados los supuestos de normalidad de los residuos sobre estos modelos evidenciándose el no cumplimiento de estos. Con base en esto y a lo observado en el análisis exploratorio con relación a los diferentes picos y a los sesgos positivos en algunas de las curvas de los gráficos de porcentaje de grasa vs los efectos fijos categóricos (Figura 4-6), se decidió construir modelos lineales generalizados con distribución gaussiana inversa y gamma. Contrario a lo observado para producción de leche y

porcentaje de proteína el modelo con familia de distribución gaussiana inversa no presentó problemas de convergencia y pudo ser considerado dentro de los análisis comparativos. De esta manera, fueron comparados los modelos PG5a, PG5b y PG5c con los mismos criterios que los modelos anteriores. Se encontró que el modelo que mejor explicó la variabilidad de la característica porcentaje de grasa fue el PG5a el cual incluyó los siguientes parámetros; efectos fijos, intercepto aleatorio de la hembra receptora y la función de enlace “log” para la familia con distribución inversa gaussiana.

Tabla 0-5: Parámetros y valores de AIC y BIC para los modelos evaluados en la descripción de la variabilidad del porcentaje de grasa.

Modelos	Efectos fijos	IA	PA	Var	Correlación	Familia	AIC	BIC	
LM	PG0	reg+pst+sp	-	-	-	Normal	450,06	476,03	
LMM	PG1	reg+pst+sp	1 hr	-	-	Normal	436,00	465,23	
	PG2a	reg+pst+sp	1+DEL hr	-	-	Normal	440,00	475,72	
	PG3a	reg+pst+sp	1 hr	-	~1 reg	Normal	439,94	475,65	
	PG3b	reg+pst+sp	1 hr	-	~1 pst	Normal	437,83	473,54	
	PG3c	reg+pst+sp	1 hr	-	~1 sp	Normal	439,75	475,5	
	PG4a	reg+pst+sp	1 hr	-	-	corCompSymm(~1 hr)	Normal	438,00	470,47
	PG4b	reg+pst+sp	1 hr	-	-	corSymm(~1 hr)	Normal	423,07	471,77
	PG4c	reg+pst+sp	1 hr	-	-	corAR1(~1 hr)	Normal	435,78	468,25
	PG4d	reg+pst+sp	1 hr	-	-	corCAR1(~DEL hr)	Normal	438,00	470,47
PG4e	reg+pst+sp	1 hr	-	-	corARMA(~1 hr)	Normal	437,51	473,23	
GLMM	PG5a	reg+pst+sp	1 hr	-	-	Gauss inv	394,30	423,80	
	PG5b	reg+pst+sp	--	-	-	Gamma	498,50	528,10	
	PG5c	reg+pst+sp	1 hr	-	-	Gamma	489,50	522,30	

IA: intercepto aleatorio, PA: pendiente aleatoria, Var: Varianza, reg: región, pst: pastura, sp: sistema productivo, DEL: días en leche, hr: hembra receptora, corCompSymm: correlación de simetría compuesta, corSymm: correlación general, corAR1: autocorrelación de primer orden, corCAR1: autocorrelación de primer orden con covariable de tiempo continuo. Los valores en negrilla se corresponden con el modelo seleccionado.

Generalmente, los estudios que evalúan el porcentaje de proteína en leche también evalúan el porcentaje de grasa, debido a que son dos características que describen la calidad composicional que puede presentar la leche. No obstante, es importante evaluar cada una de ellas con el propósito de observar y determinar qué factores influyen en cada una. Rossi et al. (2012) evaluaron el porcentaje de grasa en leche de vacas Holstein utilizando modelos lineales mixtos con la inclusión de efectos fijos y considerando al animal y los días en lactancia como efectos aleatorios. Por su parte, en otro estudio realizado para evaluar la variable respuesta porcentaje de grasa, se utilizó un modelo lineal mixto con

inclusión de efectos fijos, el efecto aleatorio de hato y una estructura de correlación de primer orden (Machado et al., 2013). De igual manera, Hoyos-Rojas. et al. (2021) realizaron un estudio comparativo para evaluar porcentaje de grasa en vacas Holstein y encontraron que el mejor modelo para explicar la variabilidad de esta característica fue aquel que incluyó el efecto semiparamétrico de los días en leche, los efectos fijos, el efecto aleatorio de la vaca en cada lactancia y la distribución gaussiana inversa con correlación autorregresiva de primer orden. Los estudios mencionados anteriormente también evaluaron el porcentaje de proteína en leche y para todos estos las dos variables respuesta se modelaron en función de los mismos parámetros.

- Aplicación del modelo final

El modelo seleccionado para modelar la característica porcentaje de grasa se expresa a continuación

$$\begin{aligned}
 y_{ij}|b_0 &\sim \text{InvGauss}(\hat{\mu}_{ij}, \hat{\phi}) \\
 \log(\hat{\mu}_{ij}) &= 1,08 + 0,051\text{reg}2_{ij} + 0,144\text{reg}3_{ij} + 0,013\text{sppr}_{ij} - 0,170\text{spse}_{ij} \\
 &\quad + 0,054\text{pstg}2 - 0,043\text{pstg}3 + \tilde{b}0i \\
 \hat{\phi} &= 0,008845 \\
 b_0 &\sim N(0, \hat{\sigma}^2 b_0 = 0,0337)
 \end{aligned}$$

El modelo definitivo aplicado en R por medio de la función *predict*, permite predecir el porcentaje de grasa que se esperaría de una vaca en su siguiente control, dependiendo de las condiciones no genéticas presentes en esta. En la Tabla 4-6 se presenta el porcentaje de grasa esperado para las vacas 437 y 019 bajo diferentes condiciones ambientales (factores no genéticos).

Es posible observar en la Tabla 4-6 la influencia que tiene la hembra receptora, la región, el tipo de pastura y el tipo de sistema productivo sobre el porcentaje de grasa. En general, se espera mayor porcentaje de grasa (PG) para la vaca 019, en la región 2, bajo pasturas del grupo 2 y en pastoreo rotacional. Al comparar los valores de PG y de PL obtenidos para las vacas 019 y 437, se observa que la vaca para la que se espera mayor producción de leche (vaca 437) producirá menor porcentaje de grasa. Y que la vaca para la que se

espera menor producción de leche (vaca 019) producirá mayor porcentaje de grasa, mostrando la relación contraria que presentan la PL y el PG. La fibra juega un papel importante en la concentración de grasa en leche; así, bajos contenidos de fibra efectiva en la dieta ocasionan una disminución en la concentración de grasa en leche, consecuencia de la inadecuada producción de ácido acético y butírico en el rumen (García & Panadero, 2012). En general, los valores estimados de grasa son bajos para las condiciones no genéticas presentadas, coincidiendo que en las regiones comparadas se encuentran pastos con altos contenidos de fibra que van de 72,18 a 80,00 % para FDN y de 40,71 a 50,37 % en FDA (Naranjo et al 2023).

Tabla 0-6: Porcentaje de grasa estimado para un animal que experimentaría diferentes condiciones genéticas y no genéticas.

HR	Región	Pastura	Sistema productivo	PG estimada (%)
437	Región 1	Grupo 2	PR	2,35
	Región 2			2,47
	Región 1	Grupo 3		2,13
	Región 2			2,24
	Región 1	Grupo 2	PC	2,32
	Región 2			2,44
	Región 1	Grupo 3		2,10
	Región 2			2,21
019	Región 1	Grupo 2	PR	3,61
	Región 2			3,79
	Región 1	Grupo 3		3,27
	Región 2			3,44
	Región 1	Grupo 2	PC	3,56
	Región 2			3,75
	Región 1	Grupo 3		3,23
	Región 2			3,40

HR: hembra receptora, Región 1: Arboledas y Pamplona, Región 2: Chinácota y El Zulia, PC: pastoreo continuo, PR: pastoreo rotacional Grupo 2: predominio de Braquiarias, Grupo 3: predominio de Kikuyo (para los pastos revisar Tabla 2-1), PG: porcentaje de grasa.

Mojica-Rodríguez et al. (2019) encontraron diferencias ($p < 0,05$) en el PG en leche de vacas Gyr x Holstein sometidas a tres tipos de gramíneas diferentes, obteniendo valores de porcentaje de grasa en leche mayores para el pasto *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania (4,70 %), seguido de *Brachiaria brizantha* cv Toledo (4,23 %) y *Brachiaria híbrido* Mulato II

(4,17 %), respectivamente. Sin embargo, Mojica-Rodríguez & Burbano-Erazo, (2020) reportaron valores iguales de PG de 3,9 % (*Megathyrus maximus* Agrosavia Sabanera) y de 3,4 % (*Megathyrus maximus* cv. Tanzania) para vacas Gyr x Holstein y valores de 3,7 % (*Megathyrus maximus* Agrosavia Sabanera) y de 3,9 % (*Megathyrus maximus* cv. Tanzania) para vacas Costeño con Cuernos, no encontrando diferencias ($p > 0,05$) en el PG en leche producido bajo las dos pasturas.

De igual manera, se ha descrito que se presentan mayores porcentajes de grasa en animales cebú (4,9 %) en comparación con animales Holstein (3,5 %) (Cerón-Muñoz. & Correa, 2005). Para este trabajo a pesar de que el componente racial taurino europeo no fue significativo para el PG en leche, se pudo observar para la vaca 437 (con mayor componente taurino europeo), un valor estimado menor para PG, mientras que la vaca 019, que se espera produzca más grasa, tiene un componente racial más cebuino (0,558 %), evidenciando que posiblemente existen otros factores relacionados con la genética que no fueron evaluados en los modelos.

4.4.4 Recuento de células somáticas

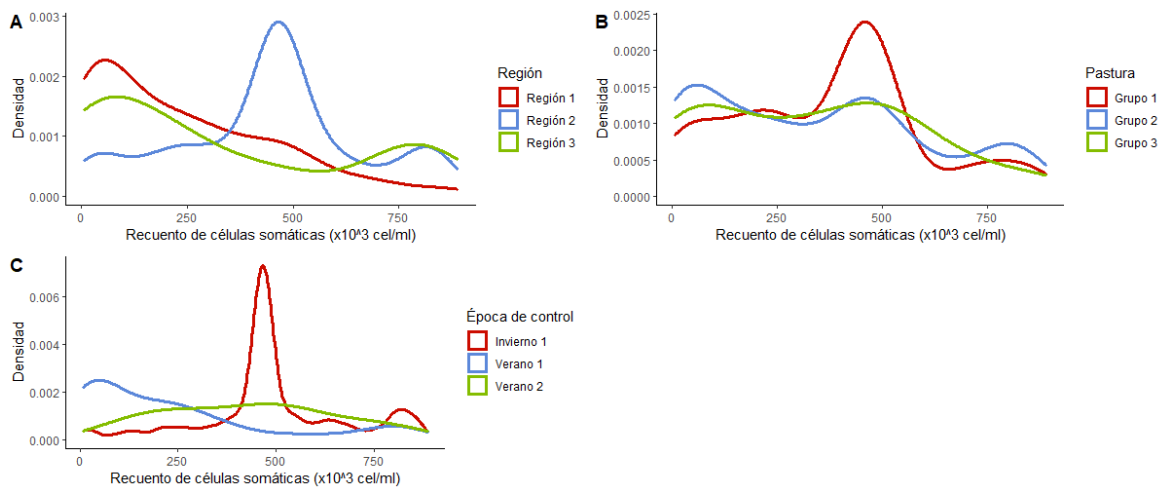
- Análisis exploratorio para los efectos significativos

En la Figura 4-7 se muestra la densidad para el recuento de células somáticas (RCS) por animal, diferenciando por la región (Figura 4-7 A), la pastura (Figura 4-7 B) y la época de control (Figura 4-8 C). Se puede observar que los valores de recuento de células somáticas muestran marcadas diferencias en las curvas presentadas para cada nivel de región, pasturas y época de control. La región 2 las pasturas del grupo 1 y la época de invierno 1 parecen mostrar un comportamiento cercano a una distribución normal. Sin embargo, para la región 2 y 3, las pasturas del grupo 2 y 3 y las épocas de verano 1 y 2 muestran un comportamiento casi lineal con algunos picos leves a lo largo de las curvas.

Por otro lado, la época de control invierno 1 parece mostrar los valores medios más altos para recuentos de células somáticas, mientras que para el verano 1, se presentan los valores medios más bajos. Por su parte, para el efecto de región, parece haber un comportamiento similar entre las curvas de la región 1 y la región 3 con la media de

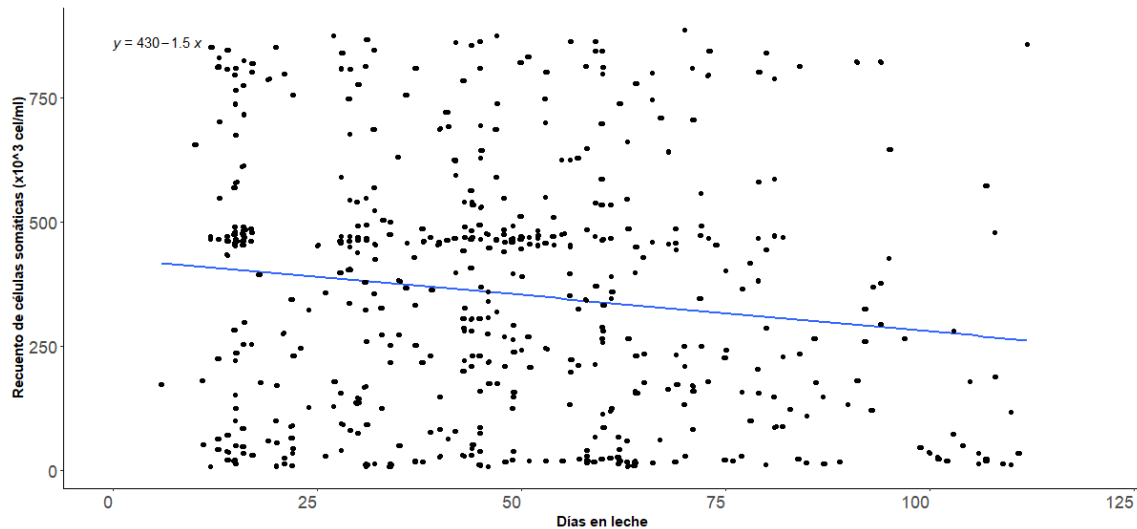
recuentos de células somáticas más bajas. Finalmente, para las pasturas del grupo 1 parece que se encuentran las medias de recuento de células somáticas más altas.

Figura 4-7: Densidad para el recuento de células somáticas según la época de control, la región y la pastura.



Región 2: Chinácota y El Zulia, Región 3: El Tarra y Ocaña, Grupo 1: predominio de Angleton y Guinea, Grupo 2: predominio de Braquiarias, G3: predominio de kikuyo (revisar Tabla 2-1), Invierno 1: abril, mayo y junio, Verano 1: diciembre, enero, febrero marzo, Verano 2: julio y agosto

En la Figura 4-8 es posible observar la relación existente entre el recuento de células somáticas y los días en leche. El valor mínimo de recuento de células somática fue de 8×10^3 cel/ml y el valor máximo fue de 888×10^3 cel/ml, mostrando una amplia variación en el recuento de células somáticas para los diferentes animales evaluados. De igual manera, se puede observar una tendencia negativa y baja, en la que a medida que avanzan los días en leche en el primer tercio de lactancia, el recuento de células somáticas disminuye.

Figura 4-8: Relación entre el recuento de células somáticas y los días en leche.

Diferentes estudios han evaluado la influencia de la región, la pastura, las épocas y los días en leche sobre el RCS. Álvarez, (2015) no encontró diferencias ($p > 0,05$) entre el recuento de células somáticas en dos zonas diferentes, explicado con el hecho de que en ambas zonas el manejo de los animales es similar con ordeño manual y mecánico, con adecuadas prácticas de ordeño. Como se observa, el manejo establecido por los productores en cada una de las zonas conlleva en gran parte a un aumento o disminución de RCS. De esta manera, prácticas de manejo adecuadas son efectivas para reducir el RCS y controlar enfermedades como la mastitis. Por otro lado, en el mismo estudio Álvarez, (2015) menciona que el RCS es alto en las dos primeras semanas de lactancia, decrece durante la lactancia media y aumenta al final de esta. Vásquez et al. (2012) encontraron diferencias ($p < 0,05$) en el RCS al evaluar diferentes regiones, pero no encontraron diferencias ($p > 0,05$) entre los meses evaluados. De igual manera, Petres et al. (2015) encontraron que el RCS fue afectado por la época y año de parto ($p < 0,01$), observando mayores RCS durante el invierno, señalando que es una época en la que se da mayor manejo del rebaño y en la que a pesar de realizar adecuadas rutinas de ordeño, la pluviosidad incide en la formación de barro promoviendo el aumento de RCS presentes en el ambiente.

- Selección del modelo

Los efectos no genéticos y genéticos que fueron significativos para el recuento de células somáticas luego de aplicar el procedimiento *stepwise* fueron la región, la pastura, la época de control y los días en leche.

La comparación de los diferentes modelos construidos para el recuento de células somáticas en leche inició con los modelos lineales clásicos (RCS0) y los modelos lineales mixtos (RCS1-RCS4e) teniendo en cuenta la prueba de verosimilitud y los menores valores de AIC y BIC. Bajo estas condiciones el modelo ganador fue el RCS3a con un menor valor de AIC y un valor un poco más alto que los otros modelos para el BIC (Tabla 4-7) y en el que se involucraron los siguientes parámetros; efectos fijos, intercepto aleatorio de la hembra receptora y la varianza de la variable respuesta en función de la época de control. Fueron evaluados los supuestos de normalidad de los residuos sobre estos modelos evidenciándose el no cumplimiento de estos. Debido a lo anterior se realizó la transformación logarítmica del recuento de células somáticas. A pesar de ello, no se observó mejoría en los gráficos de los residuales y no hubo cumplimiento de los supuestos de normalidad tomando la decisión de trabajar con las observaciones de magnitud original para la construcción de otros modelos con la inclusión de otras familias de distribución. No obstante, a diferencia de lo observado para las variables de producción y calidad composicional de la leche, el recuento de células somáticas no mostró un comportamiento claro en las curvas de densidad (Figura 4-8), que permitieran dar una idea del tipo de distribución que se podría utilizar. Sin embargo, la distribución Poisson ha sido ampliamente utilizada en diferentes estudios para el modelaje de variables que involucran conteos. Por consiguiente, como primer alternativa se construyó un modelo lineal generalizado con distribución Poisson (RCS5a) encontrándose que el uso de esta distribución incrementó sustancialmente los valores de AIC y BIC con relación a los modelos anteriores. Se procedió a construir modelos lineales generalizados mixtos con la familia de distribución gamma como se había venido desarrollando para las otras características, siendo el modelo RCS5a el elegido para explicar la variabilidad de la característica recuento de células somáticas, porque permitió obtener valores de AIC y BIC

menores que para el modelo Poisson, aunque un poco más altos que los modelos con distribución normal. Para este modelo se involucraron únicamente los efectos fijos y un enlace “log” para la familia con distribución gamma. Se encontró un estudio en el que no hubo cumplimiento de los supuestos de normalidad de los residuos para la característica bacterias totales (10^{11} UFC/ml) cuando las observaciones se evaluaron en su magnitud original y transformada; para este caso los autores tuvieron que recurrir a la aplicación de modelos lineales mixtos generalizados, utilizando distribuciones como Poisson, lognormal y gamma, siendo esta última la de mejor ajuste, con función de enlace log (Herrera et al. 2020).

Tabla 0-7: Parámetros y valores de AIC y BIC para los modelos evaluados en la descripción de la variabilidad del recuento de células somáticas.

Modelos	Efectos fijos	IA	PA	Var	Correlación	Familia	AIC	BIC	
LM	RCS0	reg+pst+ec+DEL	-	-	-	-	Normal	6994,29	7032,38
LMM	RCS1	reg+pst+ec+DEL	1 hr	-	-	-	Normal	6996,29	7038,61
	RCS2	reg+pst+ec+DEL	1+DEL hr	-	-	-	Normal	7000,29	7051,08
	RCS3a	reg+pst+ec+DEL	1 hr	-	~1 ec	-	Normal	6983,19	7033,98
	RCS3b	reg+pst+ec+DEL	1 hr	-	~1 reg	-	Normal	6985,34	7036,13
	RCS3c	reg+pst+ec+DEL	1 hr	-	~1 pst	-	Normal	6999,86	7050,64
	RCS4a	reg+pst+ec+DEL	1 hr	-	~1 ec	corCompSymm(~1 hr)	Normal	6977,19	7032,21
	RCS4b	reg+pst+ec+DEL	1 hr	-	~1 ec	corSymm(~1 hr)	Normal	6989,74	7082,85
	RCS4c	reg+pst+ec+DEL	1 hr	-	~1 ec	corAR1(~1 hr)	Normal	6985,18	7040,20
	RCS4d	reg+pst+ec+DEL	1 hr	-	~1 ec	corCAR1(~DEL hr)	Normal	6985,19	7040,21
	RCS4e	reg+pst+ec+DEL	1 hr	-	~1 ec	corARMA(~1 hr)	Normal	6987,14	7046,39
GLMM	RCS5a	reg+pst+ec+DEL	1 hr	-	-	Poisson	60706,3	60744,6	
	RCS5b	reg+pst+ec+DEL	-	-	-	Gamma	7051,8	7090,0	
	RCS5c	reg+pst+ec+DEL	1 hr	-	-	Gamma	7053,8	7096,2	

IA: intercepto aleatorio, PA: pendiente aleatoria, Var: Varianza, reg: región, pst; pastura, DEL: días en leche, hr: hembra receptora, corCompSymm: correlación de simetría compuesta, corSymm: correlación general, corAR1: autocorrelación de primer orden, corCAR1: autocorrelación de primer orden con covariable de tiempo continuo. Los valores en negrilla se corresponden con el modelo seleccionado.

La mayoría de las investigaciones relacionadas con el recuento de células somáticas trabajan con la variable transformada, con el fin de poder ajustar los datos a una distribución normal, ejemplo de esto son los trabajos realizados por Bennedsgaard et al. (2003); Cerón Muñoz et al. (2007); Gonçalves et al. (2018). Sin embargo, estas transformaciones no siempre resultan en el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianza e independencia de los residuos, especialmente cuando se trabajan medidas repetidas en el tiempo como fue observado en este trabajo.

▪ Aplicación del modelo final

El modelo seleccionado para modelar la característica recuento de células somáticas se expresa a continuación

$$\begin{aligned}
 y_{ij} &\sim \text{Gamma}(\hat{\mu}_{ij}, \hat{\phi}) \\
 \log(\hat{\mu}_{ij}) &= 5,88 - 0,592ecV1 - 0,098ecV2 + 0,490 \text{ reg}2_{ij} + 0,351 \text{ reg}3_{ij} \\
 &\quad + 0,087 \text{ pstg}2 + 0,318 \text{ pstg}3 - 0,0034 \text{ del}_{ij} \\
 \hat{\phi} &= 0,765
 \end{aligned}$$

Dicho modelo puede ser aplicado en R por medio de la función *predict* para predecir el recuento de células somáticas que se esperaría de una vaca en su siguiente control, dependiendo de las condiciones no genéticas presentes en esta. En la Tabla 4-8 se presenta el recuento de células somáticas esperado para las vacas bajo diferentes condiciones de época de control y días en leche, dejando las otras condiciones estables.

Tabla 0-8: Recuento de células somáticas bajo diferentes factores no genéticos.

Región	Pastura	Época de control	DEL	RCS estimada (x10 ³ cel/ml)
Región 2	Grupo 2	Verano 2	15	549
			60	471
		Invierno 1	15	606
			60	520
	Grupo 3	Verano 2	15	692
			60	594
		Invierno 1	15	763
			60	655
Región 3	Grupo 2	Verano 2	15	478
			60	410
		Invierno 1	15	527
			60	452
	Grupo 3	Verano 2	15	602
			60	517
		Invierno 1	15	665
			60	570

Región 2: Chinácota y El Zulia, Región 3: El Tarra y Ocaña, Grupo 2: predominio de Braquiarias, G3: predominio de kikuyo (revisar Tabla 2-1), Invierno 1: abril, mayo y junio, Verano 2: julio y agosto, RCS: recuento de células somáticas.

Es posible observar en la Tabla **4-8** la influencia que tiene la región, las pasturas, la época de control y los días en leche sobre el recuento de células somáticas. En general, se esperan menores recuentos de células somáticas (RCS) en la región 3, con alimento de pasturas del grupo 2, en la época de verano 2 y en días en leche más avanzados.

A pesar de que el componente racial no fue significativo algunos autores han encontrado que el factor genético es influyente sobre el RCS. Usme-Ciro et al. (2004) evaluaron la relación existente entre el genotipo de Kappa-caseína bovina con el RCS, encontrando que existen asociaciones entre el genotipo AA y el bajo RCS y del genotipo AB con el alto RCS. Por su parte, se ha señalado que el RCS suele ser menor en hatos de alta producción de leche, debido a que generalmente reciben un mejor manejo, en el que se hacen medidas de prevención y control de mastitis (Rosas, 2015).

En general son pocos los estudios que se han desarrollado para evaluar los factores que influyen sobre el recuento de células somáticas en leche. La mayoría de los estudios se han enfocado en evaluar el efecto que tiene el RCS sobre la producción de leche y la calidad composicional de esta (Rosas, 2015; Malek dos Reis et al., 2013; Vásquez et al., 2014; Pegolo et al., 2021; Hadrich et al., 2018; Romero et al., 2018) debido a las pérdidas económicas que pueden generar los altos recuentos de células somáticas.

Vásquez et al. (2012) encontraron recuentos de células somáticas que variaron entre 586 a 676×10^3 cel/ml, siendo mayores en los meses de enero, febrero y abril y menores en septiembre, octubre y noviembre, sin diferencias entre el RCS y los meses evaluados. De igual manera, evaluaron la influencia de la región sobre el RCS en once regiones de acopio de leche encontrando que los menores valores de RCS se encontraron en Puerto Boyacá (354×10^3 cel/ml), Funza (364×10^3 cel/ml) y Planeta Rica (373×10^3 cel/ml). Por otro lado, Mendoza et al. (2009) observaron variaciones en la frecuencia de las RCS en función del mes de lactancia en búfalas, encontrando que los valores medios de RCS fueron mayores en los meses de mayo y julio con valores de 857.067 y 994.290 cel/ml, respectivamente, y valores más bajos en febrero y marzo con valores de 74.067 y 74.121 cel/ml. Los autores mencionan también que, las clases bajo (0 – 200.000 células/ml) y medio (200.001 a 400.000 células/ml) de RCS fueron las que presentaron las mayores

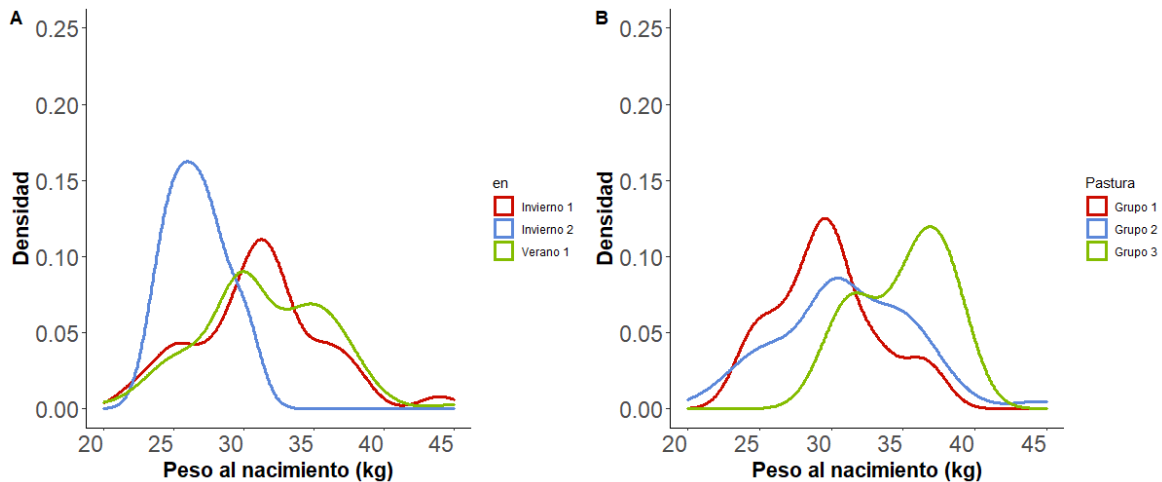
frecuencias, evidenciando que en búfalas hay una tendencia a menores RCS. De igual manera, estos mismos autores observaron diferencias ($p < 0,05$) entre las medias de recuento de células somáticas y mayores valores para RCS en el primer mes de lactancia (126.131 células/ml). Con relación a la época del año también evidenciaron diferencias ($p < 0,05$) con valores medios de RCS de 81.404 células/ml para época seca y de 101.651 cel/ml para la época lluviosa.

4.4.5 Peso al nacimiento

- Análisis exploratorio para efectos significativos

En la Figura **4-9** se muestra la densidad para el peso al nacimiento por animal, diferenciando por la época de nacimiento y la pastura. Se puede observar que los valores de peso al nacimiento muestran picos diferentes dependiendo de la época de nacimiento y la pastura. Dicha situación deja ver que los pesos al nacimiento parecen ser mayores para el grupo 3 de pasturas, la época verano 1 e invierno 1, estas últimas con curvas muy similares. En la Figura **4-9** se logra observar una evidencia de sesgo en las observaciones, sin embargo, para confirmar si los datos se distribuyen de manera normal, fue necesario hacer gráficos de los residuales y evaluar los supuestos de normalidad.

Figura 4-9: Densidad para el peso al nacimiento según la época de nacimiento y la pastura.



Invierno 1: abril, mayo y junio, Verano 1: diciembre, enero, febrero marzo, Verano 2: julio y agosto, Grupo 1: predominio de Angleton y Guinea, Grupo 2: predominio de Braquiarias, G3: predominio de kikuyo (para los pastos revisar Tabla 2-1).

Algunos autores han reportado diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores medios de peso al nacimiento para terneros nacidos en época de invierno, respecto a los nacidos en época de verano, encontrando mayores pesajes en estos últimos, explicable como consecuencia de la disponibilidad de alimento presente en la época precedente (C. Álvarez et al., 2019). Pacheco et al. (2013) evaluaron la influencia del mes de nacimiento sobre el peso al nacimiento encontrando diferencias ($P < 0,05$) entre los meses evaluados con mayores pesos para el mes de octubre y menores para el mes de febrero, señalando que dicha situación podría deberse a que el periodo de lluvias presente en el mes de octubre favorece la disponibilidad de forrajes para la vaca lo que conlleva a un mayor desarrollo fetal, mientras que en el mes de febrero se presentan periodos de sequía donde la alimentación no es la mejor. De igual manera, Forero et al. (2017), en un estudio con corderos concluyeron que es necesario una modulación adecuada de la alimentación durante el último tercio de la gestación para mitigar el efecto de las altas temperaturas sobre el peso de los corderos al nacimiento. Por su parte, Arce et al. (2017) no encontraron diferencias ($p > 0,05$) en las épocas de nacimiento evaluadas, señalando que la calidad y disponibilidad del forrajes que consumieron las hembras durante el periodo de gestación en las épocas evaluadas no permitió observar alguna diferencia en el PN.

Adicionalmente, se ha descrito que la fuente de alimentación de las hembras durante su gestación influye en el peso al nacimiento de sus crías, de esta manera, deficiencias de proteína en la dieta predispone a la presentación de anestros, baja tasa de concepción, reabsorción fetal, parto prematuro y nacimiento de terneros con bajo peso. A su vez que deficiencias en vitamina A generan anestros, baja tasa de concepción, abortos, nacimiento de terneros con bajo peso o muertos y retención de placenta (GRANJA, S. et al., 2012).

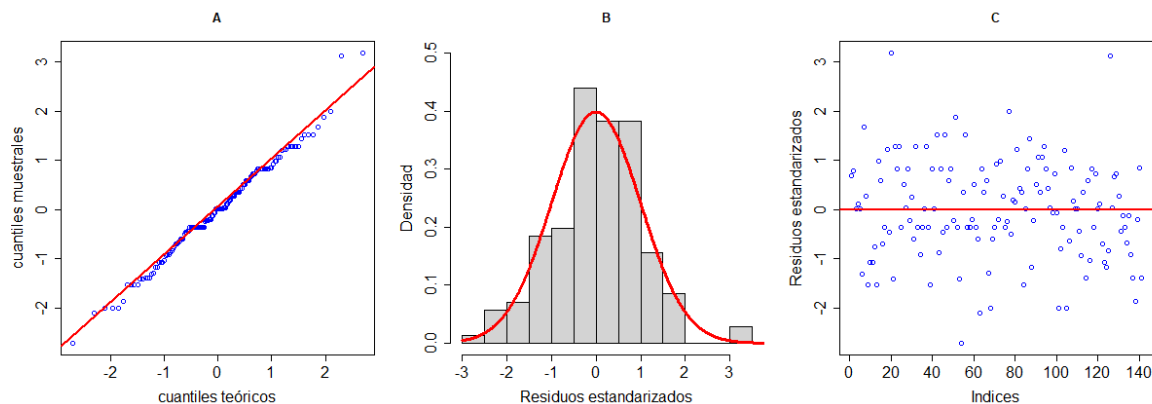
- Selección del modelo

Los efectos no genéticos y genéticos que fueron significativos para PN luego de realizar el procedimiento *stepwise* fueron la pastura y la época de nacimiento. Estos hallazgos son consecuentes con lo encontrado en el análisis de correspondencia para el que se encontraron asociaciones con el grupo de PN3 respecto al grupo de pasturas 3.

Para el peso al nacimiento se evaluó únicamente un modelo, debido a que como la característica no presenta medidas repetidas en el tiempo sobre el mismo animal, las observaciones son independientes entre sí, siendo posible la aplicación de un modelo lineal clásico para el que se consideraron los efectos de época de nacimiento y pastura. De igual manera, fueron corroborados los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas por medio de figuras y las pruebas de Shapiro Wilk y Levene, respectivamente.

En la Figura 4-10 puede observarse que los residuales estandarizados para el peso al nacimiento parecen ajustarse correctamente a una distribución normal, ya que se observa que la mayoría de los puntos están alineados con la línea de referencia y solo una pequeña cantidad de residuales se alejan al final (Figura 4-10 A). A su vez, el histograma (Figura 4-10 B) permite evidenciar una simetría entre los residuales alrededor del valor 0. Finalmente, la Figura 4-10 C deja ver que las observaciones no muestran ningún patrón y que son homogéneas a lo largo de la figura.

Figura 4-10: Gráficos para evaluar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.



- Aplicación del modelo final

El modelo seleccionado para modelar la característica peso al nacimiento se expresa a continuación

$$y_{ij} \sim N(\hat{\mu}_{ij}, \sigma^2_y)$$

$$\hat{\mu}_{ij} = 29,26 - 3,90 \text{ eni}2 + 0,68 \text{ env}1 + 1,57 \text{ pst}g2 + 5,28 \text{ pst}g3$$

Dicho modelo fue aplicado en R por medio de la función *predict* para predecir el peso al nacimiento que se esperaría de un ternero, dependiendo de las condiciones no genéticas presentes durante la gestación de la madre. En la Tabla 4-9 se presenta el peso al nacimiento esperado para un ternero bajo tres épocas de nacimiento y con la madre alimentándose bajo tres tipos de pastura.

Tabla 0-9: Peso al nacimiento bajo diferentes condiciones ambientales.

Pastura	época de nacimiento	PN estimado (kg)
Grupo 1	Invierno 1	29,26
Grupo 2		30,83
Grupo 3		34,54
Grupo 1	Invierno 2	25,35
Grupo 2		26,93
Grupo 3		30,64
Grupo 1	Verano 1	29,95
Grupo 2		31,52
Grupo 3		35,23

Grupo 1: predominio de Angleton, Guinea, Mombaza , Grupo 2: predominio de Braquiarias, Grupo 3: predominio de Kikuyo (para los grupos de pasto revisar Tabla 2-1), I1: abril, mayo y junio, I2: septiembre, octubre y noviembre, V1: diciembre, enero, febrero y marzo, PN: peso al nacimiento.

Es posible observar en la Tabla 4-9 la influencia que tiene el tipo de pastura y la época de nacimiento sobre el peso al nacimiento. En general, se esperan mayores pesos al nacimiento para animales bajo pasturas del grupo 3 y en época de verano. Álvarez et al. (2019) encontraron valores medios de peso al nacimiento de 30,95 kg para terneros nacidos en época de invierno y de 31,66 kg para terneros nacidos en verano; por su parte Pacheco et al. (2013) reportaron el valor menor de peso al nacimiento para el mes de febrero con un peso de 31,90 kg y el mayor valor para el mes de octubre con un peso de 32,70 kg. Arce et al. (2017) encontraron pesos de 31,56 kg para época seca y de 31,21 kg para época de lluvias.

4.5 Conclusiones

La producción de leche está afectada por factores como el componente racial del animal, la hembra receptora, la región, el sistema productivo, la pastura, la época de control, la edad al primer parto y la condición corporal. Por su parte, la calidad composicional de la leche (proteína y grasa) está influenciada por factores como la región, la pastura y los días en leche para proteína; y por los factores de región, pastura, sistema productivo y hembra receptora para contenidos de grasa. El recuento de células somáticas esta influenciado por la época de control, las pasturas y los días en leche. Y finalmente, el peso al nacimiento

esta influenciado por la pastura con la que es alimentada la madre y por la época de nacimiento.

A diferencia del análisis realizado en el capítulo dos, en este capítulo fue posible hacer inferencia estadística y determinar cuáles factores tanto ambientales (factores no genéticos) como genéticos, influyen realmente en la variabilidad de las características en estudio, logrando además separar y reconocer el efecto que tiene cada factor de manera independiente sobre las características. Adicionalmente, con el uso de los modelos lineales generalizados mixtos y la inclusión del intercepto aleatorio de la hembra, fue posible tener en cuenta la correlación existente entre las observaciones dentro de cada hembra.

Se logró identificar un modelo que se ajustó correctamente a cada una de las características en estudio siendo posible la predicción de los valores futuros de los animales con relación a las características de la leche. De esta manera, se le permite al productor tener una idea de que hembras presentan mejores parámetros productivos con relación a la producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas, convirtiéndose en una herramienta de utilidad para los productores a la hora de tomar decisiones y generar estrategias de manejo en sus hatos. Adicionalmente, la selección de animales con mejores desempeños para las características en estudio conlleva a la mejora en los pagos de la leche, ya que conforme mejora la calidad composicional y sanitaria de esta, el retorno económico es mayor.

4.6 Bibliografía

- Alonso-Vázquez, Á. C., Torres-Cárdenas, V., Iriban-Díaz, C. A., Benítez-Odio, M., & Chongo-García, B. (2017). *Modelo estadístico de evaluación del impacto-MEMI-de algunos indicadores sobre la producción de leche en una unidad ganadera del occidente de Cuba*.
- Álvarez, C., Heras, J., Vargas, O., & Sanchez, A. (2019). Influencia de dos métodos biotecnológico reproductivo sobre el peso al nacimiento y del manejo al destete de terneras Gyrolando. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(2), 119–124. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.916>
- Álvarez, F., Casanoves, F., Suárez, J. C., & Pezo, D. (2021). The effect of different levels of tree cover on milk production in dual-purpose livestock systems in the humid tropics of the Colombian Amazon region. *Agroforestry Systems*, 95(1), 93–102. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00566-7>

- Álvarez, J. E. G. (2015). Comparación de los indicadores productivos porcentaje de grasa, porcentaje de proteína, recuento de células somáticas (RCS), nitrógeno ureico en leche (MUN) y producción en litros de leche bovina de fincas pertenecientes a las microcuencas del norte y. In *Corporación Universitaria Lasallista Facultad* (Issue c).
- André, M. (2020). Holando y Normando: Desempeño en un sistema de producción de leche limitando uso de suplementos en el Noreste de Uruguay. In *Liquid Crystals*. Universidad de la República.
- Anzures-Olvera, F., Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Correa-Calderón, A., Díaz-Molina, R., Hernández-Rivera, J. A., & Avendaño-Reyes, L. (2015). Efecto de época del año (verano vs. invierno) en variables fisiológicas, producción de leche y capacidad antioxidante de vacas Holstein en una zona árida del noroeste de México. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 20, 15–20. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84938092633&partnerID=MN8TOARS>
- Arce, C., Aranda, E., Osorio, M., Gonzáles, R., Díaz, P., & Hinojosa, J. (2017). Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en un hato de doble propósito en Tabasco, México Productive and reproductive parameters in dual-purpose Zebu x Holstein cattle in Tabasco, Mexico. *Rev Mex Cienc Pecu*, 8(1), 83–91. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4347>
- Bennedsgaard, T. W., Enevoldsen, C., Thamsborg, S. M., & Vaarst, M. (2003). Effect of mastitis treatment and somatic cell counts on milk yield in Danish organic dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(10), 3174–3183. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73920-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73920-4)
- Bittante, G., Ferragina, A., Cipolat-Gotet, C., & Cecchinato, A. (2014). Comparison between genetic parameters of cheese yield and nutrient recovery or whey loss traits measured from individual model cheese-making methods or predicted from unprocessed bovine milk samples using Fourier-transform infrared spectroscopy. *Journal of Dairy Science*, 97(10), 6560–6572. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8309>
- B.M. Bolker, M. E. Brooks, C. J. Clark, S. W. Geange, J. R. Poulsen, M. H. H. Stevens, and J.-S. S. White. (2009). Generalized Linear Mixed Models: A Practical Guide for Ecology and Evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(3):127–135. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.10.008>. [p378, 379]
- B. M. Bolker (2015). Linear and Generalized Linear Mixed Models. In G. A. Fox, S. Negrete-Yankelevich, and V. J. Sosa, editors, *Ecological Statistics*. Oxford University Press, Oxford, UK, [p378, 379] B.
- Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Mächler, M., & Bolker, B. M. (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *R Journal*, 9(2), 378–400. <https://doi.org/10.32614/rj-2017-066>

-
- Cañas, J., Cerón-Muñoz, M., & Corrales, J. (2011). Modeling the lactation curves for milk, fat and protein yield of Holstein cattle in Antioquia, Colombia. *Revista MVZ Cordoba*, 16(2), 2514–2520. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1015>
- Carrero, O., Jerez, M., Macchiavelli, R., Orlandoni, G. & Stock, J. 2008. Ajuste de curvas de índice de sitio mediante modelos mixtos para plantaciones de *Eucalyptus urophylla* en Venezuela. *Interciencia* 33:4
- Carulla, J., & Ortega, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83–87.
- Carvajal, A., & Kerr, B. (2015). Factores genéticos que influyen la composición de la leche bovina. *Manuales INIA Chile*, 9.
- Castillo-Umaña, M., Balocchi, O., Pulido, R., Sepúlveda-Varas, P., Pacheco, D., Muetzel, S., Berthiaume, R., & Keim, J. P. (2020). Milk production responses and rumen fermentation of dairy cows supplemented with summer brassicas. *Animal*, 14(8), 1684–1692. <https://doi.org/10.1017/S175173112000021X>
- Cerón-Muñoz., M. F., & Correa, H. (2005). Factores nutricionales que afectan la composición de la leche. In *Bioquímica. nutrición y alimentación de la vaca* (pp. 230–261).
- Cerón Muñoz, M., Agudelo, E., & Maldonado Estrada, J. (2007). Relación entre el recuento de células somáticas individual o en tanque de leche y la prueba CMT en dos fincas lecheras del departamento de Antioquia (Colombia). *Rev. Colomb. Cienc. Pecu*, 20, 472–483.
- Cherobin, V. C., Garzón, J. P. P., Alvarado, J. P. M., & Marini, P. R. (2019). Condición corporal y su relación con producción láctea, reproducción y perfil metabólico en vacas lecheras del trópico boliviano. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 30(1), 107–118. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i1.14459>
- Chin Colli, R. C., Magaña Monforte, J. G., Segura Correa, J. C., & Núñez Domínguez, R. (2012). Factores ambientales y proporción racial que influyen en el peso al nacimiento, al destete y edad al primer parto en Bovinos Suizo pardo en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(1), 55–60.
- Dabdoub SM, Shook GE. Phenotypic relations among milk yield, somatic cell count and clinical mastitis. *J Dairy Sci*, 1984; 67: 163-164.
- Emam Gheise, N. J., Riasi, A., Zare Shahneh, A., Celi, P., & Ghoreishi, S. M. (2017). Effect of pre-calving body condition score and previous lactation on BCS change, blood metabolites, oxidative stress and milk production in Holstein dairy cows. *Italian Journal of Animal Science*, 16(3), 474–483. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1290507>
- Emmanuel Sessarego, D., Juan Chávez, C., Alberto Barrón, L., Angel Vásquez, R., & Manuel López, C. (2019). Edad al primer parto y productividad lechera del ganado bovino Holstein en la costa central del Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 30(4), 1603–1610. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17153>
- Forero, F. J., Venegas, M., Alcalde, M. J., & Daza, A. (2017). Peso al nacimiento y al

- destete y crecimiento de corderos Merinos y cruzados con Merino Precoz y Ile de France: Análisis de algunos factores de variación. *Archivos de Zootecnia*, 66(253), 89–97. <https://doi.org/10.21071/az.v66i253.2130>
- Ganaie, A. H., Shanker, G., Bumla, N. A., Ghasura, R. S., Mir, N. A., Wani, S. A., & Dudhatra, G. B. (2013). Biochemical and physiological changes during thermal stress in bovines. *Journal of Veterinary Science and Technology*, 4(1). <https://doi.org/10.4172/2157-7579.1000126>
- García, I. C., & Panadero, A. N. (2012). Factores que influyen en la composición nutricional de la leche. *Revista Ciencia Animal*, 0(5), 73–85.
- Gonçalves, J. L., Cue, R. I., Botaro, B. G., Horst, J. A., Valloto, A. A., & Santos, M. V. (2018). Milk losses associated with somatic cell counts by parity and stage of lactation. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4357–4366. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13286>
- Gonzales, A. (2020). Cadena láctea Colombiana. *Análisis Situacional Cadena Láctea*, 122. http://www.andi.com.co/Uploads/20200430_DT_AnalSitLecheLarga_AndreaGonzalez.pdf
- González, L.M. & López, L. A. 2002. Medidas repetidas con datos faltantes: estimación de parámetros vía análisis de covarianza. *Rev. Colombiana de Estadística* 25:127
- Granja, S., Y. T., Cerquera, G, J., y Fernandez, B, O. (2012). Factores nutricionales que interfieren en el desempeño reproductivo de la hembra bovina. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 4(2), 458. <https://doi.org/10.24188/recia.v4.n2.2012.227>
- Hadrich, J. C., Wolf, C. A., Lombard, J., & Dolak, T. M. (2018). Estimating milk yield and value losses from increased somatic cell count on US dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 3588–3596. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13840>
- Hernández, F., & González Herrera, L. G. (2020). *La producción de leche en vacas de la raza Lucerna*. 23–42.
- Herrera, M., Galindo, J., Padilla, C., Guerra, C. W., & Medina, Y. (2020). Proposal of a mixed linear and a mixed generalized model for the analysis of an experiment in rumen microbiology. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(2), 1–8.
- Hoyos-Rojas., J. E., Angulo-Arizala., J., Mahecha-Ledesma., L., Houwers-Wageningen, H. W., & Cerón-Muñoz., M. F. (2021). Comparación productiva y de calidad en leche de vacas Holstein pastoreando en diferentes sistemas del trópico alto. *Acta Agronómica*, 70(1), 35–41.
- Humberto T., M. V. Z. (2014). Producción de Leche y Biosíntesis. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 1–6. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/59-Produccion_Leche_y_Biosintesis.pdf
- Huson, H. J., Kim, E. S., Godfrey, R. W., Olson, T. A., McClure, M. C., Chase, C. C., Rizzi, R., O'Brien, A. M. P., Van Tassell, C. P., Garcia, J. F., & Sonstegard, T. S. (2014).

- Genome-wide association study and ancestral origins of the slick-hair coat in tropically adapted cattle. *Frontiers in Genetics*, 5(APR), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00101>
- Kelsey, J. A., Corl, B. A., Collier, R. J., & Bauman, D. E. (2003). The effect of breed, parity, and stage of lactation on conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat from dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(8), 2588–2597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73854-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73854-5)
- Machado, V. S., Bicalho, M. L. S., Pereira, R. V., Caixeta, L. S., Knauer, W. A., Oikonomou, G., Gilbert, R. O., & Bicalho, R. C. (2013). Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on the health and production of lactating Holstein cows. *Veterinary Journal*, 197(2), 451–456. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.02.022>
- Madrid, A., Calvo, S., & Arismendy, J. (2020). Modelación de la curva de producción, grasa y proteína en ganado Holstein y Jersey del Norte y Oriente de Antioquia. *Revista Universidad Católica de Oriente*, 31(46), 70–84.
- Magaña Monforte, J. G., Luis López, E., Segura Correa, J. C., Akélópez, J. R., Montes Pérez, R. C., & Aguilar Pérez, C. F. (2016). Comportamiento productivo de vacas cruzadas en un sistema de doble propósito en Yucatán, México. *Livestock Research for Rural Development*, 28(9).
- Malek dos Reis, C. B., Barreiro, J. R., Mestieri, L., Porcionato, M. A. de F., & dos Santos, M. V. (2013). Effect of somatic cell count and mastitis pathogens on milk composition in Gyr cows. *BMC Veterinary Research*, 9. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-67>
- Melo, A. F., Silva, M. A. P., Silva, F. R., Carmo, R. M., S, N. R. B., Nicolau, E. S., & Lage, M. E. (2015). Influence of breeds genetic composition on the quality of milk from primiparous cows. *African Journal of Biotechnology*, 14(15), 1334–1341. <https://doi.org/10.5897/ajb2014.14127>
- Mendoza, C., Pabón, M., & Carulla, J. (2011). Variaciones diarias de la oferta forrajera, efecto sobre la producción y calidad de la leche. *Revista MVZ Cordoba*, 16(3), 2721–2732. <https://doi.org/10.21897/rmvz.273>
- Mendoza, G., Tonhati, H., Cerón, M., Aspilcueta, R., & Rodriguez, G. (2009). Factores ambientales que afectan el recuento de células somáticas en leche de búfalos (. *Revista de Medicina Veterinaria*, 18, 11–20.
- Mojica J E, Castro E, León J, Cárdenas E A, Pabón M L y Carulla J E (2009):Efecto de la oferta de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre la producción y calidad composicional de la leche bovina. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 21, Article #1. Retrieved September 3, 2022, from <http://www.lrrd.org/lrrd21/1/moji21001.htm>
- Mojica-Rodríguez, J. E., & Burbano-Erazo, E. (2020). Effect of two cultivars of *Megathyrsus maximus* (Jacq.) on cattle milk production and composition. *Pastos y Forrajes*, 43(3),

167–173.

- Mojica-Rodríguez, J. E., Castro-Rincón, E., Carulla-Fornaguera, J. E., & Lascano-Aguilar, C. E. (2019). Lipid profile in milk of grazing cows in the colombian dry tropics. *Agronomy Mesoamerican*, 30(2), 497–515. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.34723>
- Molinero, L.M. 2003. ¿Qué es el método de estimación de máxima verosimilitud y cómo se interpreta? Liga Española para la lucha contra la Hipertensión Arterial. p. 1. Disponible: <www.seh_lilha.org/statl.htm> [Consultado: Enero 2021]
- Naranjo-Guerrero, L. F. ., Rodríguez-Colorado, N. ., & Uron-Castro, C. A. (2023). Caracterización bromatológica de pastos en seis municipios del Departamento de Norte de Santander; Colombia. *Scientia Et Technica*, 27(4), 245–252. <https://doi.org/10.22517/23447214.24725>
- Ordaz, R. L., Carreón, R. G., García Muñiz, J. G., & Valverde, R. R. (2009). Producción de leche de vacas con diferente porcentaje de genes *Bos taurus* en el trópico mexicano. *Tecnica Pecuaria En Mexico*, 47(4), 435–448.
- Pacheco, F., Depablos, L., Martínez, G., & Vargas, D. (2013). Factores no Genéticos y de Grupo racial que afectan el peso al nacer en un sistema de producción con Vacunos de carne. *Rev.Fac.Cs.Vets*, 54(1), 35–45.
- Paul, A., Bhakat, C., Mandal, D., Mandal, A., Mohammad, A., Chatterjee, A., & Dutta, T. K. (2019). Relationship among body condition, subcutaneous fat and production performance of Jersey crossbred cows. *Indian Journal of Animal Sciences*, 89(5), 578–580.
- Pegolo, S., Giannuzzi, D., Bisutti, V., Tessari, R., Gelain, M. E., Gallo, L., Schiavon, S., Tagliapietra, F., Trevisi, E., Ajmone Marsan, P., Bittante, G., & Cecchinato, A. (2021). Associations between differential somatic cell count and milk yield, quality, and technological characteristics in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 104(4), 4822–4836. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19084>
- Petres, C., Mujica, F., & Uribe, H. (2015). Influencia de la época de parto sobre la producción y calidad de leche de un predio con estabulación completa en la Región de los Ríos, Chile. *Agro Sur*, 43(1), 61–66. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2015.v43n1-08>
- Prias, M. (2017). *Estudio de caso: Estimación del valor de heredabilidad para producción y composición de la leche de vacas Jersey en el trópico colombiano.*
- Rivera Rodríguez, A. A., Pastrán Traña, E., Rivera Pineda, F., & Rizo Gutiérrez, J. R. (2009). Incidencia del manejo zootécnico, tecnologías usadas en el ganado de ordeño, en la cantidad y calidad de leche que producen los ganaderos en el municipio de Muy Muy- departamento de Matagalpa, Nicaragua. *Ra Ximhai*, 5, 247–258. <https://doi.org/10.35197/rx.05.02.2009.10.ar>
- Rodríguez, C. E., Saavedra, G. F., & Gómez, D. F. (2015). Efecto de la etapa de lactancia sobre la calidad fisicoquímica de leche en vacas de raza Holstein y Normando.

Zootecnia Tropical, 33(1), 23–35.

- Rojas Bastidas, M., Torres De Saavedra, A., Gómez Gil, M., Lucena Seijas, C., Martínez García, G., & Pérez Quintero, G. (2019). *La producción de leche de un rebaño doble propósito*. 24, 5–12.
- Román, P. H., Ortega, R. L., Hernández, Aparicio Laura Díaz, A. E., Espinosa, García José Antonio Núñez Hernández, Gregorio Vera, Á. H. R., Medina, C. M., & Ruiz, L. F. de J. (2009). *Producción de leche de bovino en el sistema de doble propósito*.
- Romero, J., Benavides, E., & Meza, C. (2018). Assessing financial impacts of subclinical mastitis on Colombian Dairy Farms. *Frontiers in Veterinary Science*, 5(NOV). <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00273>
- Rosas, J. (2015). *Influencia de la época de parto y recuento de células somáticas sobre el rendimiento productivo y reproductivo para Overo Colorado* (Vol. 3, Issue 2). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/myaccess.library.utoronto.ca/pubmed/11720961>
- Rossi, P. A., Silva-Kazama, C. da D., Lino-Lourenço, A. S., Santos, S. dos F., Santos, T. dos G., Damasceno, J. C., & Neto, G. P. R. (2012). Composição E Qualidade Do Leite Em Função Da Fase E Ordem De Lactação. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4(1).
- Sawa, A., Siatka, K., & Krezel-Czopek, S. (2019). Effect of age at first calving on first lactation milk yield, lifetime milk production and longevity of cows. *Annals of Animal Science*, 19(1), 189–200. <https://doi.org/10.2478/aoas-2018-0044>
- Usme-Ciro, J., Restrepo, F., & Trujillo-Bravo, E. (2004). Kappa-Caseina Bovina y su asociación con el recuento de células somáticas en ganado Holstein. *Actual Biol*, 26(80), 17–22. <http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/raba2004v26n80art3.pdf>
- Vásquez, J. F., Loaiza, E. T., & Olivera, M. (2012). Calidad higiénica y sanitaria de leche cruda acopiada en diferentes regiones colombianas TT - The hygienic and sanitary quality of raw milk collected from different regions in Colombia TT - Qualidade higiênica e sanitária do leite cru coletado em diferen. *Orinoquia*, 16(2), 13–23. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092012000200002&lang=es%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/rori/v16n2/v16n2a02.pdf
- Vásquez, J. A., Novoa, C. F., & Carulla, J. E. (2014) Efecto del recuento de células somáticas sobre la aptitud quesera de la leche y la calidad fisicoquímica y sensorial del queso campesino. *Investigación Rev Fac Med Vet Zoot*, 61(2), 171–185.
- Winston, Q. (2018). Somatic cell count (rsc) as an indicator in the resistance of bovine mastitis. *Ciencia, Revista Innovación, Tecnología*, 16, 1001–1012. http://www.scielo.org.bo/pdf/rcti/v16n17/v16n17_a05.pdf

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que existe una variación de magnitud media a alta de las características dentro de la población multirracial evaluada, lo que hace, que posiblemente por esta razón los sistemas doble propósito sean poco eficientes ya que no hay estándares que permitan unificar el manejo de los animales dentro de los hatos. Adicionalmente, y de acuerdo con el bajo nivel de producción promedio encontrado para estas características, se evidencia la presencia de vacas con muy bajos niveles productivos que hacen que posiblemente la rentabilidad de los hatos sea baja.

Con el análisis de caracterización fenotípica realizado fue posible determinar que existen factores no genéticos que pueden incidir sobre la variación de características de la leche y de peso al nacimiento. Todos estos factores no genéticos pueden ser controlados, algunos de manera directa y otros de forma indirecta. De esta manera, se esperaría que en los sistemas de producción con presencia de hembras multirraciales y en zonas de trópico alto se implementen pasturas como Kikuyo y Raygrass con adecuados manejos, para obtener producciones de leche y porcentajes de proteína mayores y pesos al nacimiento favorables. Para el caso de zonas con condiciones ambientales de trópico bajo se esperaría que se implementen pasturas como Angleton, Guinea, Estrella, Mombaza y Brachiarias sp, para obtener producciones de leche, porcentajes de proteína en niveles medios y porcentajes de grasa mayores. A su vez, el manejo de estas pasturas, la correcta aplicación de prácticas de higiene y la selección del sistema semiestabulado, especialmente en época de invierno, puede mitigar el impacto generado por las condiciones propias de cada época sobre la leche y sobre el RCS.

El análisis de componentes principales realizado sobre las hembras receptoras utilizando razas control permitió ver una relativa baja definición de la estructura poblacional,

corroborando la presencia de eventos de mestizaje en la población, como consecuencia de la falta de seguimiento genealógico y la realización de cruzamientos no dirigidos, ya que en estos cruces se da una mezcla de razas al punto que, resulta en un individuo racialmente indeterminado o no definido. Por su parte, el análisis de componentes principales realizado en las crías permitió diferenciar la población de crías con relación a los toros utilizados, evidenciando la existencia de posibles procesos de selección diferentes para los toros utilizados, lo que, a su vez podría implicar variabilidad en los parámetros productivos de las crías de esta población.

La aproximación obtenida por medio del análisis de estructura poblacional permitió identificar de forma efectiva 7 grupos genéticos que posteriormente fueron agrupados en 3 componentes genéticos para la conformación de las hembras receptoras estudiadas, ayudando a robustecer las apreciaciones fenotípicas realizadas en campo. De igual manera, permitió corroborar la composición racial de las crías obtenidas, lográndose identificar de forma efectiva los 2 grupos genéticos presentes en la conformación de esta población.

El uso de análisis genómico como herramienta para la determinación de la estructura poblacional garantiza una amplia precisión en la estimación del componente racial a nivel individual y de hato, convirtiéndose en una herramienta segura y rentable para la implementación de apareamientos dirigidos que garanticen el correcto aprovechamiento de la heterosis con un balance entre la producción de leche, carne y adaptación. A su vez, permite identificar relaciones genéticas en la población y a nivel individual que no serían posibles de abarcar con solo la información de genealogía

El valor de LD fue menor para la población mestiza de hembras receptoras, seguida por las crías 1/2 Holstein x 1/2 Gyr y crías 5/8 Holstein x 3/8 Gyr, respectivamente. Dicha situación, muestra que la raza Holstein ha sido sometida por mucho más tiempo a procesos de selección intensivos en comparación con la raza Gyr y que los reproductores utilizados han sido fuertemente seleccionados para diversas características productivas. Por otro lado, los menores valores observados para la población de hembras receptoras pueden deberse a la poca o nula selección que se ha realizado sobre estas y a posibles eventos de recombinación con múltiples razas ocurridos durante su desarrollo.

La producción de leche está afectada por factores como el componente racial del animal, la hembra receptora, la región, el sistema productivo, la pastura, la época de control, la edad al primer parto y la condición corporal. Por su parte, la calidad composicional de la leche (proteína y grasa) está influenciada por factores como la región, la pastura y los días en leche para proteína; y por los factores de región, pastura, sistema productivo y hembra receptora para contenidos de grasa. El recuento de células somáticas esta influenciado por la época de control, las pasturas y los días en leche. Y finalmente el peso al nacimiento esta influenciado por la pastura con la que es alimentada la madre y por la época de nacimiento.

A diferencia del análisis realizado en el capítulo 2, en el capítulo 4 fue posible hacer inferencia estadística y determinar cuáles factores tanto ambientales (factores no genéticos) como genéticos influyen realmente en la variabilidad de las características en estudio, logrando además separar y reconocer el efecto que tiene cada factor de manera independiente sobre las características. Adicionalmente, con el uso de los modelos lineales generalizados mixtos y la inclusión del intercepto aleatorio de la hembra, fue posible tener en cuenta la correlación existente entre las observaciones dentro de cada hembra.

Se logró identificar un modelo que se ajustó correctamente a cada una de las características en estudio siendo posible la predicción de los valores futuros de los animales con relación a las características de la leche. De esta manera, se le permite al productor tener una idea de que hembras presentan mejores parámetros productivos con relación a la producción de leche, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y recuento de células somáticas, convirtiéndose en una herramienta de utilidad para los productores a la hora de tomar decisiones y generar estrategias de manejo en sus hatos. Adicionalmente, la selección de animales con mejores desempeños para las características en estudio conlleva a la mejora en los pagos de la leche, ya que conforme mejora la calidad composicional y sanitaria de esta, el retorno económico es mayor.

Recomendaciones

Se recomienda seguir evaluando información de tipo productivo en los hatos doble propósito de Norte de Santander y en general del país, generando proyectos en los que haya trabajo conjunto de productores, universidades y entes gubernamentales, con la finalidad de que la información analizada por las universidades logre ser aplicada a nivel práctico en campo; de esta manera se puede impactar sobre los sistemas de producción de mayor predominancia en el país.

Se debe ampliar el número de controles a evaluar en las hembras, con el ideal de poder llegar a comprender mejor el comportamiento de la producción de leche y la calidad composicional y sanitaria de esta a lo largo de la lactancia. A su vez, es importante que los productores lleven información fenotípica y genealógica con el propósito de poder desarrollar análisis más profundos sobre la información.

Las características relacionadas con la leche muestran que es necesario implementar programas de mejoramiento genético en los hatos doble propósito, puesto que se encontraron valores de media a alta variación especialmente en la producción de leche y el recuento de células somáticas, haciendo difícil establecer un manejo en particular para las vacas en cada hato.

Los sistemas doble propósito del país deben empezar a plantear claramente sus objetivos de producción y empezar a trabajar con cruzamientos que puedan realmente expresar el potencial productivo de los animales. Cruzar razas indiscriminadamente sin plantear apareamientos dirigidos no refleja la capacidad productiva de los animales y, por el contrario, puede generar efectos negativos sobre parámetros productivos y de adaptación.

El conocimiento del efecto de todos los factores estudiados, tanto genéticos como ambientales (factores no genéticos), sobre las características de la leche y el peso al nacimiento por las metodologías usadas en este estudio, servirá como base para que se creen estrategias en campo enfocadas a mejorar los índices productivos de los animales. La información genómica debe ir acompañada de información fenotípica y genealógica para poder sacar el mayor provecho de esta herramienta. Por tanto, es importante que los

productores lleven información relacionada con el manejo de sus animales y con las relaciones parentales, para poder llegar a realizar estudios tales como, evaluaciones genéticas y/o genómicas, estudios de asociaciones genómicas, etc. que permitirán realizar selección de animales superiores