UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

SELECCIÓN DE OVEJAS A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA LECHE APLICANDO UN MODELO MIXTO

TESIS DE LICENCIATURA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A

PMVZ. EDSON VALLE RIVERA

ASESORES
DR. EN BCA. JORGE OSORIO AVALOS
DR. MANUEL GONZÁLEZ RONQUILLO

Toluca, Estado de México. Mayo de 2026

ÍNDICE

RESUMEN 4
1. INTRODUCCIÓN 5
2. REVISIÓN DE LITERATURA 7
2.1 Producción de leche de oveja en el mundo. 7
2.1.1 Situación actual de la producción de leche ovina en México. 8
2.2 Razas ovinas lecheras presentes en México 9
2.2.1 Raza Lacaune 9
2.2.2 Raza East Friesian 10
2.2.3 Raza Awassi 11
2.3 Selección en el mejoramiento genético en ovejas lecheras. 13
2.3.1 Selección visual, técnico, manualmente. 13
2.3.1.1 Selección por caracteres morfológicos. 13
2.3.1.2 Selección por morfología de la ubre 14
2.3.2 Selección por métodos cuantitativos 16
2.3.2.1 El modelo genético para caracteres cuantitativos. 16
2.3.2.2 Valor genético (VG) 17
2.3.2.3 Propiedades aditivas de los valores genéticos y diferencias de progenie (DEP). 18
2.3.2.4 Capacidad de producción 18
2.3.2.5 El modelo genético de caracteres repetidos. 18
2.3.2.6 Valores mejorantes estimados (EBV) y precisión de la selección. 19
2.3.2.7 Heredabilidad directa y respuesta a la selección 19
2.3.2.8 Indicios del valor mejorante de un candidato para un rasgo 20
2.3.2.9 Caracteres correlacionados 21
2.3.3 Selección por medio de BLUP, herramienta para conocer la EBV. 22
2.3.3.1 Mejor predicción lineal insesgada del valor genético: modelos univariados con un efecto aleatorio. 23
2.3.3.1.1 Desviación del rendimiento de la progenie (hija). 23
2.3.3.1.2 Modelo animal reducido. 24
2.3.3.2 La mejor predicción lineal insesgada del valor genético: modelos con efectos ambientales aleatorios 24
2.3.3.2.1 Modelo de repetibilidad 24
2.3.3.2.2 Modelo con efectos ambientales comunes. 24
2.3.3.3 Mejor predicción lineal insesgada del valor genético: modelos multivariados (MBLUP). 25
2.3.4 Selección por métodos de la genética molecular 26
2.3.4.1 Modelo de regresión aleatoria 26
2.3.4.2 Selección de rasgos simplemente heredados 26
2.3.4.3 Prueba de apareamientos de prueba de genotipos parentales 26
2.3.5 El modelo general mixto 26

2.4 Registros productivos 28
2.5 Métodos en mejoramiento genético a través de criterios de selección en ovejas lecheras. 29
2.5.1 Rendimiento de leche 30
2.5.2 Composición de la leche 30
2.5.2.1 Grasa 30
2.5.2.2 Proteínas 31
2.5.2.3 Lactosa 31
2.5.2.4 Conteo de Células Somáticas (CCS) 32
3. JUSTIFICACIÓN 34
4. HIPÓTESIS: 35
5. OBJETIVO GENERAL 36
6. MATERIAL Y MÉTODOS 37
6.1 Material animal. 37
6.2 Instalaciones y equipo de laboratorio. 37
6.3 Material de campo. 37
6.4 Método. 39
6.5 Edición de la información y análisis estadístico. 40
7. LÍMITE DE ESPACIO. 41
8. LIMITE DE TIEMPO 42
9. RESULTADOS 43
10. DISCUSIÓN 50
10.1 Producción de leche 51
10.2 Grasa 52
10.3 Proteína 52
10.4 Lactosa 53
10.5 Sólidos totales 54
10.6 Conteo de Células Somáticas (CCS x 103) 54
10.7 Método de selección. 55
10.7.1 El mejor predictor lineal insesgado (BLUP) 55
10.7.2 Mejor predicción lineal insesgada del valor genético: modelos multivariados (MBLUP). 55
10.7.3 Mejor predicción lineal insesgada del valor genético: modelos univariados con un efecto aleatorio. 56
10.7.4 Modelo genético para caracteres cuantitativos 56
10.7.5 Valores Mejorantes Estimados (EBV) 57
10.7.7 Modelo de regresión aleatoria 57
10.7.8 Modelo Mixto 57
11. CONCLUSIÓN 58
REFERENCIAS 59

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Principales países productores de leche ovina (2022).....7

Cuadro 2. Algunas unidades de producción de leche ovina de importancia en México……...9

Cuadro 3. Metodología empleada para los diferentes rasgos cualitativos y cuantitativos……17

Cuadro 4. Estadística descriptiva de los componentes de la leche en ovejas híbridas Awassi, East Friesian y Lacaune…….44

Cuadro 5. Índices de selección para la producción y los componentes de la leche: porcentajes de grasa, proteína, lactosa y conteo de células somáticas (CCS x 10^3).....46

Cuadro 6. Resumen por cuartiles y grupo genético en ovejas híbridas Awassi, East Friesian y Lacaune en el Rancho San Francisco, municipio de Colón, Estado de Querétaro……....50

Cuadro 7. Resumen de los datos obtenidos de los componentes de la leche en ovejas……...51

RESUMEN

“Selección de ovejas a través del análisis del rendimiento y calidad de la leche aplicando un modelo mixto”. Tesis de Licenciatura producto del proyecto: Evaluación de ovejas lecheras híbridas de las razas East Friesian, Lacaune y Awassi en un rebaño comercial, a través del uso del rendimiento y calidad de la leche como criterios para selección de reemplazos. Clave registro SIEA: 6973/2024SP.

Valle RE, Osorio AJ y González RM.

Un programa de selección dentro de una población puede dar lugar a un aumento continuo del valor mejorante y por tanto de la rentabilidad de una empresa ganadera. El objetivo del presente estudio fue identificar y seleccionar ovejas lecheras altamente productivas en un rebaño comercial a través de un modelo mixto, analizando el rendimiento y calidad de la leche, con la finalidad de incrementar la rentabilidad de la unidad de producción. Se utilizaron muestras de leche de 149 ovejas multíparas híbridas de las razas Awassi, East Friesian y Lacaune. Las muestras fueron obtenidas por un periodo de lactación de 24 semanas del Rancho San Francisco, ubicado en el municipio de Colón, Estado de Querétaro, contando con una sala de ordeño mecánica (DeLaval), equipados con cilindros medidores individuales, así como un analizador de leche Economilk Bond Total, para obtener los parámetros de medición de los porcentajes de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos, mientras que para el conteo de células somáticas, se empleó un equipo Ekomilk somatic cells analyzer Scan. La información fue estructurada en una hoja de Excel. Se obtuvo la estadística descriptiva de las variables estudiadas y la información fue estudiada mediante análisis basados en modelos mixtos (paquete estadístico JMP 17.0 from SAS), para estimar las medias mínimo-cuadráticas. Fueron seleccionadas las mejores ovejas (25%) de la población analizada, que correspondieron a 37 ovejas (1er cuartil), que fueron sobresalientes con los mejores rendimientos y componentes de su calidad de la leche (VG). Con relación a los grupos genéticos con altos índices productivos, se encontraron en el 1er cuartil una considerable cantidad de ovejas híbridas (retrocruza) que estaban conformadas por ¾ Lacaune + ¼ East Friesian y en segundo término las ovejas F1 ½ East Friesian + ½ Lacaune. Quizá el cruzamiento con la raza Lacaune podría estar mostrando buena interacción de genes con la raza East Friesian, indicando que este puede ser un camino exitoso y dónde podrían dirigirse los cruzamientos. Comparando los resultados sobre los valores del rendimiento y componentes de la leche en diferentes estudios de países con tradición en rebaños lecheros en el mundo, se encontraron valores semejantes y a su vez con diferencias dependiendo de la raza o línea genética en diversas regiones o países. El Modelo Mixto representó una herramienta alternativa viable de análisis principalmente ante la falta de información genealógica de los individuos a estudio y ante las desventajas que presentan los modelos clásicos, que de aplicarse correctamente, potencializa significativamente los programas de mejoramiento genético, facilitando decisiones de selección más informadas y efectivas. El modelo lineal mixto es una herramienta práctica que analiza datos reales de ovejas lecheras para estimar qué animales tienen mayor potencial genético.

Palabras clave: ovejas híbridas lecheras, valor genético, índice de selección, conteo de células somáticas.

1. INTRODUCCIÓN

Un programa de selección dentro de una población puede dar lugar a un aumento continuo del valor mejorante y por tanto de la rentabilidad de una empresa ganadera. La mayoría de los rasgos económicamente importantes en la producción ovina están influenciados por numerosos genes. La selección es simplemente la práctica de determinar qué individuos se convertirán en los siguientes progenitores, es el método principal para mejorar el valor genético (VG) de la próxima generación, existen dos tipos: natural y artificial. La selección natural o "supervivencia del más apto" permite que las ovejas mejor adaptadas a su entorno sobrevivan y produzcan el mayor número de crías. La selección artificial, es la que suele imponer el hombre y da como resultado la mejora genética de rasgos económicamente importantes (Falconer y Mackay, 2001).

La mejora genética resulta entonces de una selección consistente de uno o más rasgos dentro de la raza elegida (Lynch y Walsh, 1997). Seleccionar como se ha citado anteriormente, equivale a utilizar los “mejores” individuos como padres, independientemente de lo que se entienda por “mejores”. El uso de la información de los parientes es de una gran importancia en la aplicación de la selección en la mejora animal por dos razones, primero: los caracteres que van a ser seleccionados tienen a menudo una heredabilidad baja y, en ese caso, el valor medio de un cierto número de parientes provee a menudo una estimación del valor mejorante más precisa que el valor fenotípico del individuo. Segundo: cuando la finalidad de la selección es la ganancia económica, incluso una pequeña mejora de la respuesta compensará al esfuerzo extra en aplicar técnicas de selección (Falconer et al., 1996).

Existen diferentes métodos para seleccionar a los mejores animales en las unidades de producción. Una de ellas y de mayor aplicación es a través de la selección por caracteres morfológicos, por ejemplo: se propone una escala de puntos, donde cada carácter se asigna un nivel de un extremo biológico, como es la calificación a la hora de seleccionar al ganado ovino en la alzada al nivel de la grupa, anchura de la grupa, aplomos traseros, profundidad del talón, morfología de la ubre, tamaño y angulación del pezón, entre otras. **(Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra, 2003).**

Los registros son herramientas físicas y digitales en las cuales se almacenan datos de la empresa ganadera (Peña, 2022). En el sector ganadero, es de suma importancia llevar el registro del nivel productivo y genealógico de cada animal, pues permitirá disponer de información para poder actuar en la gestión productiva de las unidades de producción. Además, la mejora en la eficiencia productiva de las unidades de producción ovina de leche constituye un elemento fundamental para lograr acceder a los mercados internacionales con productos de calidad y trazabilidad garantizada. Disponer de la información productiva de cada animal permitirá obtener reemplazos de aquellas corderas hijas de las mejores ovejas del rebaño, con el objetivo de mejora productiva que ello implica (Ruiz, 2000).

En países desarrollados en la industria ganadera, el sistema de selección llamado BLUP (Best Linear Unbiased Prediction), que es “el mejor predictor lineal insesgado” se ha convertido en el

método de referencia para la predicción del valor genético de los animales, que su puesta en práctica requiere del conocimiento previo de las propiedades genéticas de los caracteres a evaluar, de las fuentes de información (registros productivos y la genealogía de los animales) y de la aplicación, una estrategia regular de interpretación e implementación de dichas evaluaciones, así como del seguimiento de los resultados (Font, 2005).

Un modelo mixto (MM), permite ajustar la(s) variable(s) de respuesta de un estudio en función de factores fijos o aleatorios, esto para estudios observacionales o experimentales (Molinero, 2003). Los MM son usados para describir e interpretar datos provenientes de experimentos que modelan la estructura de varianza más poderosa e importante, siendo una característica única de los modelos mixtos (efectos fijos y aleatorios) (Littell et al., 2000). Se emplean modelos mixtos aleatorios cuando el grupo experimental tiene diferencias incomparables. Por ejemplo, cuando queremos estimar la media de una población cuyas diferencias no se pueden distinguir de los errores del instrumento de medición. Estos modelos se utilizan cuando los niveles del factor de estudio son infinitos y sólo tenemos una muestra al azar (t niveles) (Gómez et al., 2012).

A pesar de que la producción ovina ocupa uno de los últimos lugares por su impacto económico en la industria pecuaria nacional, es reconocida como una actividad importante dentro del subsector ganadero, por el alto valor que representa al constituir un componente beneficioso para la economía del campesino de escasos recursos y por la gran demanda de sus productos (SAGARPA, 2015). Tradicionalmente la producción ovina (carne, lana, leche, entre otros) es destinada al consumo humano; sin embargo, la leche de oveja en algunos países se utiliza en la elaboración de quesos como es el tipo manchego, que incrementa su valor económico. En México la leche de oveja se destina en su mayoría para el consumo de las crías. Son escasos los estudios realizados en México donde evalúan el impacto de la producción de la leche (Chay et al., 2019).

El presente estudio tiene como objetivo seleccionar a las mejores ovejas lecheras (mejor valor de VG de las variables de importancia económica) de un rebaño comercial, a través de la obtención de índices de selección teniendo la fuente de información de los registros de rendimiento de la producción y calidad de la leche (% grasa, % proteína, % lactosa y conteo de células somáticas) por medio de la aplicación de un modelo mixto. Esto permitirá identificar a sus crías hembras como futuros reemplazos de aquellas ovejas que indiquen mejores VG, esperando que las crías hijas de ovejas seleccionadas hereden caracteres para mejorar el rendimiento quesero, y con ello una mejor respuesta a la selección.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción de leche de oveja en el mundo.

La especie ovina tiene una amplia gama de posibilidades genéticas y raciales, distribución geográfica, funcionalidad y productividad. Su censo mundial se ha estimado que alcanza los 247 millones de ovejas destinadas a la producción de leche en el año 2022 (FAOSTAT, 2022) con cerca de 10´093,015 toneladas de leche cruda, El continente asiático es el mayor productor con el 44.7% del total con 4,513 millones de toneladas con 123.4 millones de cabezas, África continúa con el 23.8% del total con 2,406 millones de toneladas con 91 millones de cabezas, mientras que Europa ocupa el tercer lugar con el 29.1% del total de toneladas y 29.5 millones de cabezas (FAOSTAT, 2022).

La producción global de leche aumentará en un 1.6% por año durante la próxima década (hasta 2029, 997 millones de toneladas) a una tasa mucho más importante que la mayoría de los productos. Los motores de crecimiento del rendimiento incluyen optimizar los sistemas de producción de leche, mejorar la salud de los animales, la máxima eficiencia alimentaria y mejorar la genética (OCDE-FAO, 2020).

Tras la distribución de la producción de leche ovina, China se concentró en la producción global más grande del mundo en 2022, seguida de Turquía y Grecia en segundo y tercer lugar, respectivamente. Como se puede ver en el Cuadro 1, la producción de leche de oveja se puede encontrar claramente en países de Asia y Europa (FAOSTAT, 2022).

Cuadro 1. Principales países productores de leche ovina (2022).

Puesto	País	Producción
1	China	1,166,283
2	Turquía	1,067,342
3	Grecia	956,450
4	Siria	706,826
5	España	545,950
6	Italia	475,400
7	Francia	343,280

(FAOSTAT, 2024).

Actualmente ha habido un ligero aumento en la introducción de ganado ovino lechero especializado en nuestro país con el fin de incrementar los índices de producción. Sin embargo, no hay información disponible sobre la producción láctea que nos permita evaluar los desempeños de producción (OCDE, 2020). La producción de leche de oveja en nuestro país es relativamente reciente comparado con países de Europa, Asia y África, donde la actividad es milenaria. de acuerdo a un dato reciente, México produce 57 mil toneladas por año (valor imputado, FAOSTAT 2022).

2.1.1 Situación actual de la producción de leche ovina en México.

El valor de la producción ovina nacional se basa principalmente en la carne y la lana. No existe un desarrollo comercial de la producción de leche ovina ni se disponen de datos estadísticos relevantes para calcular su valor en el Producto Interno Bruto agropecuario. No obstante, es un negocio en expansión que está ganando fuerza (Trejo, 2009).

La leche de ovino es un producto que no está desarrollado en el mercado nacional, pero que tiene una creciente demanda, específicamente para la producción de quesos de alto valor, por ejemplo, el queso Roquefort cuyo precio llega hasta los $800.00/kilogramo. En México, el 60% del stock de ovinos pertenece a pequeños productores que mantienen rebaños de entre 25 y 30 cabezas. El 35% hace referencia a productores de gran tamaño y solo el 5% poseen más de 500 cabezas. No obstante, la mayoría de las explotaciones se dedican a la producción de carne, principalmente para abastecer y preparar barbacoa, una comida común en estados como Tlaxcala, Hidalgo, Ciudad de México y México (Partida et al., 2013), y un número reducido para la producción de pie de cría y un número limitado para la producción láctea. Existen más de 800 especies de ovinos a nivel global (FAO, 2015), siendo las razas lecheras ovinas más reconocidas a nivel mundial se encuentran la East Friesian, Awassi, Lacaune, Sarda y Chios (Saltijeral y Cordova, 2019), y que son las tres primeras razas que tienen presencia en el país como de sus cruces entre ellas.

En Israel, Francia y Bulgaria, se consume la leche de oveja fresca directamente después de haber sido pasteurizada; se presenta en recipientes de plástico o cartón. La leche de esta especie se consume principalmente en quesos, que se elabora de forma industrial, especialmente en países donde la explotación de estos animales está altamente desarrollada. Francia, España, Italia y Grecia son países mundialmente reconocidos por sus quesos, tales como el roquefort francés y los quesos de oveja manchega en España, pecorino y feta en Italia y Grecia, respectivamente (Saltijeral y Cordova, 2019).

Según un último dato, México genera 57,000 ton (valor declarado, FAOSTAT, 2022). Además, no hay información oficial sobre el funcionamiento de los sistemas de producción de leche ovina, su distribución y su relevancia; no obstante, cifras de asociaciones de productores calculan que en 2010 había 20 explotaciones con capacidad para criar ovejas, con un inventario cercano a 6,000 animales repartidos en los estados de Coahuila, Guanajuato, Estado de México, Puebla, Querétaro y Veracruz (Cuadro 2).

En México, debido a la falta de una tradición en la producción y consumo de leche ovina y sus derivados, se han puesto en marcha esfuerzos para cultivar genotipos con alta aptitud lechera. Esto incluye factores como altos rendimientos de leche, facilidad para ordeñar y sobre todo, adaptabilidad a las condiciones ambientales de nuestra nación (Ángeles et al., 2014).

Cuadro 2. Algunas unidades de producción de leche ovina de importancia en México.

Nombre de la unidad de producción	Ubicación
Rancho Santa Marina	El Marqués, Querétaro.
Rancho Jose María	Santiago de Querétaro, Querétaro
Quesos del Rebaño	Santiago de Querétaro, Querétaro
Rancho San Francisco de Mariana	El Marqués, Querétaro
Rancho Casa de Piedra	Jilotepec, Estado de México

2.2 Razas ovinas lecheras presentes en México

Las razas East Friesian, Lacaune y Awassi son las tres razas especializadas en producción láctea presentes en países con tradición lechera, que se han introducido en nuestro país con potencial lechero, en el cual se han realizado cruzas entre ellas y también con razas establecidas de lana y pelo como la Katahdin, Pelibuey, Rambouillet, Hampshire, Blackbelly y Suffolk (Velarde et al., 2022).

2.2.1 Raza Lacaune

Originaria de la zona de Roquefort en el Macizo Central Sur de Francia, la producción de leche es usada principalmente para la elaboración del queso Roquefort (con denominación de origen). Es una de las razas con mayor rendimiento lechero con un promedio de 283 kg de leche en una lactación de 160 días (Hernández, 2016).

En Francia representa casi el 20% del total del censo ovino, con más de 870.000 animales. Su nombre se debe a la sierra y población francesa de Lacaune, en la región de Mediodía-Pirineos. Se le reconoce como una de las razas de ovejas más importantes en Europa, junto con la raza East Friesian. Estas cifras otorgan un valor especial a la raza Lacaune en la elaboración de queso, especialmente en la elaboración de Roquefort, un queso francés de fama global (FUNDECO, 2016).

Destaca de otras razas por su buena adaptabilidad y alta producción lechera, tiene una excelente adaptación a los diferentes sistemas de ordeño, sobre todo en el ordeño mecánico. Es una raza capaz de producir corderos con excelente conformación cárnica y excelente calidad de la canal. La calidad de la leche de la oveja Lacaune presenta parámetros de 7.4% de grasa y 5.56% de proteína, la hace ser la materia prima de los mejores quesos de mayor calidad, también se ha citado que se distingue por su elevada producción de leche, con una media de 500 a 800 litros de

leche por lactancia (AESLA, 2020). En cuanto al comportamiento reproductivo son hembras precoces ya que la edad a la primera cubrición es a los 8 a 9 meses de edad con un peso promedio de 35 a 40 kg (FUNDECO, 2016).



Imagen 1. Foto tomada de la asociación AESLA, catálogo de sementales Lacaune, 2025.

Actualmente, la raza Lacaune como se ha descrito, es una de las de mayor producción de leche, escogida eficientemente por su producción y composición, su número de células somáticas y su índice de ubre. A partir de 1992, 17 naciones han importado oficialmente el germoplasma de Lacaune procedente de Francia. No obstante, hasta nuestros conocimientos, hay escasas comparaciones disponibles, a excepción de España con las razas Churra y Manchega, e inicialmente en Suiza y Alemania, y posteriormente en Canadá, con la raza Frisona (Barillet et al., 2001).

2.2.2 Raza East Friesian

También conocida como Milchschaf, Frisona u ovino Frisón, es originaria de la región de Frisia en el norte de Alemania y Holanda. Es una antigua raza que se desarrolló en las áreas pantanosas del Mar del Norte. Desde la década de 1970, se introdujo en numerosos países con el objetivo de incrementar la producción de leche y la tasa reproductiva de diversas razas (Kremer et al., 2015).

Tiene gran capacidad de adaptación a las condiciones climáticas pero su mayor producción se ve reflejada en climas húmedos y montañosos y disminuida en condiciones secas y calurosas. Es una raza altamente especializada productora de leche, llegando a producir hasta 3 kg/día en sistemas de semi-estabulación, se puede encontrar en estados como Querétaro, Guanajuato, Hidalgo y Jalisco (AMCO, 2007). Es considerada una oveja de triple propósito (carne, leche y lana). La cabeza es acorné, larga, estrecha, orejas largas y horizontales, cara larga recta o ligeramente arqueada, cola larga y deslanada, es la mayor productora de leche, se caracteriza por su alta tasa de prolificidad logrando tener partos de mellizos o trillizos (FUNDECO, 2016).



Imagen 2. Foto tomada de la Sociedad de Criadores Frisona Milchschaf, 2018.

Aunque el principal rasgo de una oveja lechera es su capacidad productiva, también es importante valorar su habilidad para el ordeñe mecánico, entendido como la habilidad del animal para producir la mayor cantidad de leche en el menor tiempo posible y con la menor intervención manual (Labussiere, 1988), la cual es proporcionalmente inferior en ovinos que en bovinos (Bruckmaier et al., 1997) y siendo diferente entre las distintas razas ovinas (Caja et al., 2002; Such et al., 1995).

La raza East Friesian ha sido importada a México, siendo reconocida como la más lechera a nivel global (545 a 635 kg) con una elevada proliferación (230%) (Kervina et al., 1984). En el marco de condiciones experimentales, en la Universidad de Wisconsin, las cruzas en esta raza registraron una producción casi el doble de leche por lactancia en comparación con la raza pura (Thomas et al., 2000).

2.2.3 Raza Awassi

Es una oveja triple propósito originaria de Jordania, La oveja Awassi de cola gruesa es una de las razas más importantes de las zonas semiáridas de los países del Cercano Oriente, la mayoría de las ovejas Awassi tienen la cara café mientras que alrededor de 10 % de los rebaños criados de manera natural tiene la cara negra, la cola gruesa de las ovejas Awassi actúa como un almacén de alimento durante los periodos de poca disponibilidad de forrajes. Esta cola gruesa mide 18 cm de largo, de 15 a 16 cm de ancho y pesa de 5 a 6 kg (Kridl y González-Bulnes, 2011). Es una oveja altamente adaptable, de talla mediana y robusta suele tener manchas de color marrón o rojo, orejas caídas, es una alta productora de leche con una producción promedio de 400 a 600 kg por lactancia. La Awassi es otra raza famosa de ovejas lecheras. Es multifuncional, que es criada mayoritariamente por su carne, leche y lana. Estas ovejas poseen la habilidad de generar grandes volúmenes de leche, incluso en situaciones de sequía y elevadas temperaturas, empleando su leche para la elaboración de queso y yogur. Poseen un pelaje denso y lanudo que puede fluctuar en su coloración desde un marrón claro hasta un marrón oscuro o blanco. Una característica

peculiar de esta raza es el rabo gordo que en la mayoría de las ocasiones es necesario amputarle a la hembra para que el macho pueda fecundarla, la presencia de cuernos en machos es común y hembras no se descarta (FUNDECO, 2016).



Imagen 3. Foto tomada de la revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 2011.

Es la segunda mayor productora después de la raza East Friesian y gracias a su alta productividad y excelente adaptabilidad a la amplia gama de condiciones climáticas se ha extendido a todos los continentes siendo la raza ovina de origen no europeo más difundida (Galal et al., 2008).

Esta raza es famosa por diversas razones, como su capacidad de adaptación a ecosistemas complicados, su producción de leche y por ofrecer una carne de excelente calidad y un sabor agradable. En Jordania, la industria de las ovejas se topa con varios desafíos, el más destacado es la falta de agua, lo que resulta en una escasez de forrajes y en un incremento en los costos de los alimentos. Pese a los obstáculos, se llevan a cabo acciones para incrementar la productividad de las ovejas Awassi a través de la selección, el cuidado veterinario, la valoración de alternativas de alimentación y terapias hormonales para potenciar su fertilidad y fecundidad (Kridl y González-Bulnes, 2011).

La raza de ovejas Awassi es muy recomendable debido a su capacidad de ordeño, su adaptabilidad a condiciones ambientales difíciles, su capacidad de recorrer distancias extensas para poder pastorear (de 10 a 15 km por día), su tolerancia para resistir altas temperaturas, su resistencia a las enfermedades, su fuerte instinto, su capacidad por adaptarse a condiciones de manejo adversas y la popularidad de su carne (EPSTEIN, 1982). Todos esos atributos han generado una gran distribución de la oveja Awassi por todos los continentes incluyendo Australia y Sudamérica (Galal *et al.,* 2008).

2.3 Selección en el mejoramiento genético en ovejas lecheras.

Desde que los animales fueron domesticados por primera vez, los seres humanos han intentado alterar las poblaciones de animales mediante selección artificial. La enorme colección de razas y cepas de diferentes animales domésticos hoy existentes, es el testimonio elocuente del éxito de tal selección. Un programa de selección dentro de una población puede dar lugar a un aumento continuo, aun cuando los apareamientos tengan lugar completamente al azar. Además, cuanto más intensa sea la selección aplicada, mayor será el aumento en el nivel promedio de consanguinidad (Nicholas, 1996). A continuación, se realizó una descripción de los diferentes tipos y métodos de selección.

2.3.1 Selección visual, técnico, manualmente.

2.3.1.1 Selección por caracteres morfológicos.

Algunos aspectos que se califican a la hora de seleccionar el ganado ovino es la estatura de la oveja (Imagen 4), se define como la alzada a nivel de la grupa. Está asociado al tamaño de la oveja, aunque no está clara la relación económica entre el tamaño de oveja y rentabilidad. La inclusión está justificada en la necesidad de conocer el valor genético de los machos valorados en la selección. También la anchura de la grupa, que se define como la distancia entre las puntas del anca y entre más ancha es de mayor carácter deseable, pues está asociado a la anchura del resto del cuerpo (Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra, 2003**).**

La grupa es la parte rígida del canal de parto, se debe elegir una grupa correcta con el objetivo de tener una adecuada capacidad reproductiva de la oveja adulta. Es ideal aquella grupa (Imagen 4), que de acuerdo con su inclinación y ancho, constituye un canal de parto amplio, que facilita la expulsión del feto y crea un espacio suficiente para que se inserte la ubre (Canto y Villa, 2019).

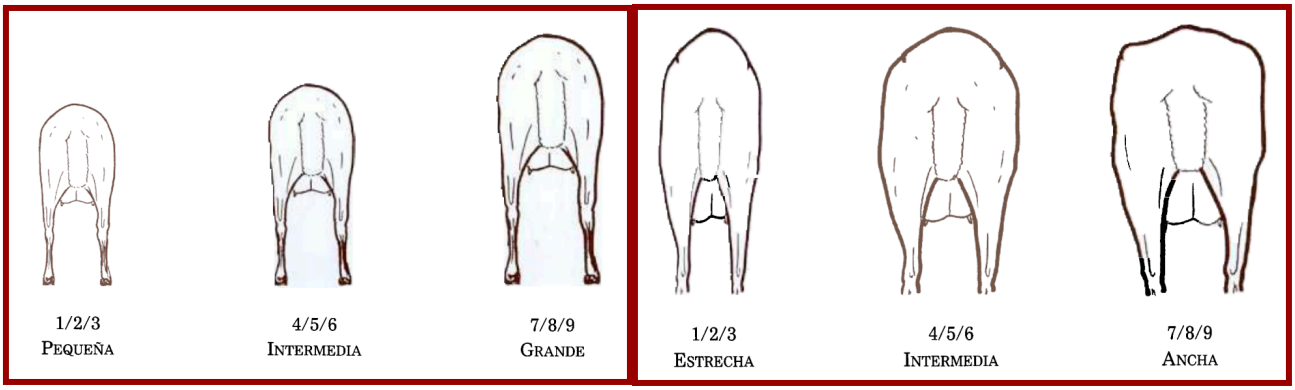


Imagen 4. Evaluación (puntaje) de la estatura del ovino (izquierda) y anchura de la grupa (derecha).

Tomado de: Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra. 2003.

Los aplomos traseros se refieren a la correlación entre el eje del miembro y sus ángulos, en relación con el nivel medio del cuerpo del animal y la línea horizontal del suelo. Son la posición de las extremidades posteriores con respecto a la vertical que parte de la articulación coxofemoral. Como los miembros que constituyen la base de soporte y propulsión del cuerpo, su correcta estructura va a estar vinculada con un rendimiento óptimo de ambas funciones. Las anomalías vienen acompañadas con la reducción de los rendimientos, producen rasgos o fallos indelebles que impactan al individuo y pueden empeorar la disminución del rendimiento productivo. Además, poseen rasgos de notable heredabilidad, lo que implica que tolerar reproductores con aplomos defectuosos implica favorecer la propagación del defecto y sus efectos en la población (Bavera, 2005).

Al igual que la profundidad del talón (imagen 5), son un carácter de gran importancia pues condicionan la movilidad y desplazamiento del animal, además de problemas en el servicio (Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra, 2003). Los aplomos son importantes por la distribución del peso y cómo puede afectar esto a una posible cojera. Se debe observar el desplazamiento de las borregas, el cual, debe ser armónico y fluido (Canto y Villa, 2019).

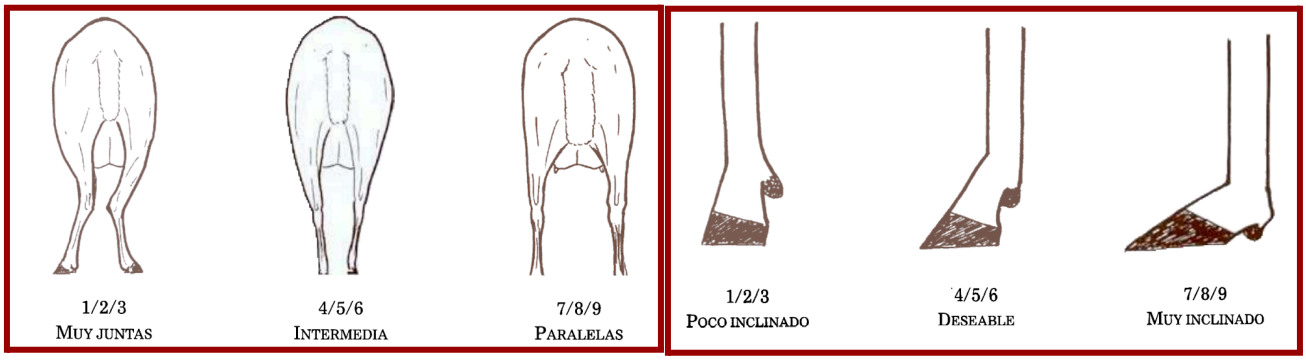


Imagen 5. Evaluación (puntaje) de aplomos traseros (izquierda) y profundidad del talón (derecha).

Tomado de: Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra. 2003.

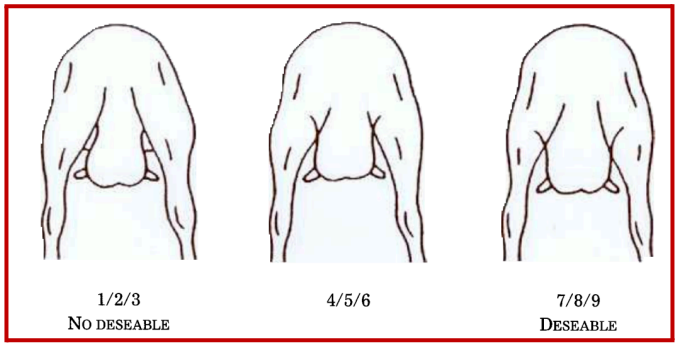
2.3.1.2 Selección por morfología de la ubre

En las razas más productivas o seleccionadas, como la Lacaune o la Assaf, se observa con relativa frecuencia la no adaptación del individuo a la máquina de ordeño por problemas de morfología de la ubre. Esto se debe a que la selección genética aplicada en estas razas se ha dirigido hacia el aumento de producción sin tener en cuenta los caracteres mamarios de los animales. (Venegas, 2013).

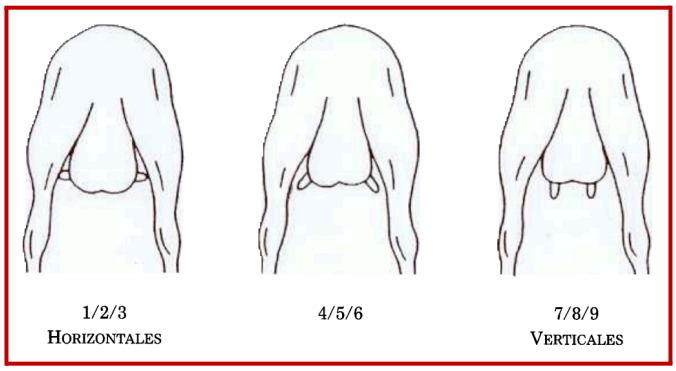
La ubre ideal debe poseer pezones verticales y de tamaño medio, no demasiada altura de las cisternas mamarias, y gran uniformidad (Venegas, 2013). La inserción de la ubre, tamaño y ángulo de los pezones o verticalidad, bondad morfológica de la ubre, refiriéndose a la

conformación global (Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra, 2003). La ubre debe tener una buena inserción de sus ligamentos y unos pezones que estén dispuestos de manera perpendicular con un tamaño moderado, para facilitar la alimentación del cordero (Canto y Villa, 2019).

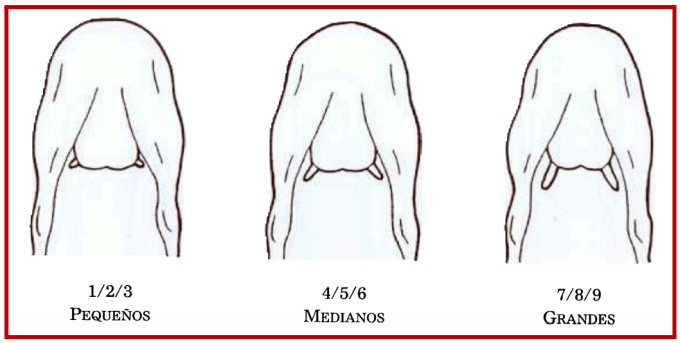
Inserción de la ubre



Angulación de los pezones



Tamaño de los pezones



Imágenes 6, 7 y 8. Evaluación de la inserción de la ubre, angulación y tamaño de los pezones.

Tomado de: la Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra, 2003.

Se ha descrito la morfología mamaria como un elemento crucial en la capacidad mecánica de ordenamiento de las ovejas lecheras (Labussière et al., 1981; Gallego et al., 1983; Fernández et al., 1995). La valoración de la forma de la ubre durante la lactancia puede ser relevante para lograr una respuesta genética favorable en la capacidad de ordeñar de las ovejas lactantes. Estos atributos definen diversas características del ordeño mecánico y su manejabilidad (periodo de ordeño, problemas de los corderos para localizar los pezones, entre otros), por otro lado, la morfología mamaria al no ser adecuada, es un predisponente para tener problemas clínicos posteriormente. Considerando esto, los caracteres mamarios deben ser vistos como de gran relevancia económica, particularmente en rebaños altamente seleccionados (Rovai et al., 1999).

2.3.2 Selección por métodos cuantitativos

2.3.2.1 El modelo genético para caracteres cuantitativos.

El trabajo del criador al seleccionar rasgos poligénicos es prácticamente el mismo, excepto que identificar genotipos está fuera de discusión. En cambio, el criador intenta identificar los valores genéticos (VG) de los individuos en busca de rasgos importantes y seleccionar aquellos individuos con los mejores valores. Se ocupa de las influencias, la medición, las relaciones entre la predicción genética y la tasa de cambio en los rasgos que son o pueden ser tratados como cuantitativos (Bourdon, 1997). El modelo básico y/o la genética básica para los rasgos cuantitativos está representada por la siguiente ecuación:

$$F = \mu + G + A$$

Donde:

F = El valor fenotípico o el desempeño de un animal individual para un rasgo.

μ = La media poblacional o el valor fenotípico promedio del rasgo para todos los animales de la población.

G = El valor genotípico del individuo para el rasgo.

A = El efecto ambiental sobre el desempeño del individuo para el rasgo (Bourdon, 1997).

Los caracteres cuantitativos son aquellas características que, a diferencia de los rasgos cualitativos (estudiados por Mendel), se miden en lugar de contarse; tales como peso, altura, producción de leche o lana. Muestran diferencias de grado entre los individuos; es decir que para estos rasgos los fenotipos muestran una serie continua y no se pueden agrupar fácilmente en distintas categorías fenotípicas, como ocurre con los rasgos cualitativos (Castañeda y Rodríguez, 2018).

Un valor fenotípico es un registro de comportamiento productivo individual. Es la medida del comportamiento productivo propio de un animal para un rasgo específico. El valor genotípico se refiere al efecto de los genes del individuo (solos o en combinación) sobre su desempeño para el rasgo. A diferencia del valor fenotípico, no se puede medir directamente. El efecto ambiental se

compone de todos los factores no genéticos que influyen en el desempeño de un individuo para un rasgo (Bourdon, 1997; Falconer et al., 1996).

A pesar de esta diferencia fundamental, que se traduce en metodología de análisis diferente para ambos tipos de rasgos, tanto los cualitativos como los cuantitativos tienen la misma base genética, pero difieren fundamentalmente en el número de genes o loci que los controlan. En el cuadro 3 se muestran algunas diferencias entre ambos tipos de rasgos.

Cuadro 3. Metodología empleada para los diferentes rasgos cualitativos y cuantitativos

Concepto	Rasgos cualitativos	Rasgos cuantitativos
Diferencias entre individuos.	De clase.	De grado.
Tipo variación.	Discontinua.	Continua.
Número de genes.	Poco (1 a 4 loci).	Muchos (control poligénico).
Influencia ambiental.	Escasa.	Mucha.
Método de análisis.	Por proporciones.	Mediante estadística.

(Castañeda y Rodríguez, 2018).

2.3.2.2 Valor genético (VG)

También conocido como valor mejorante o valor aditivo, el valor genético de un individuo es de suma importancia para un progenitor (Falconer et al., 1996). Al seleccionar rasgos poligenéticos, los criadores intentan elegir como padres a aquellos individuos con los mejores conjuntos de genes, es decir, aquellos individuos con los mejores valores genéticos. El valor genético (BV) se define aquí como valor parental, esto es el valor de un individuo como contribuyente de genes para la próxima generación. Pero el valor genético es realmente parte del componente genético en el modelo: el valor genotípico (G). Entonces podría preguntarse si los criadores deberían elegir como reemplazos a aquellos individuos con los mejores valores genotípicos (Bourdon, 1997; Mrode, 2005).

La varianza genética aditiva (VA) es el componente debido al efecto aditivo de los genes. Esta es la suma del efecto de todos los alelos en todos los loci; es decir, la varianza genética aditiva es la suma del efecto de cada uno de los alelos que ayudan a producir el fenotipo y no depende de las combinaciones específicas de los alelos, sino que de cada alelo en sí. Por lo tanto, VA no es afectada por la meiosis, ya que es transmitida desde los padres a la progenie en cada generación (Castañeda y Rodríguez, 2018).

Así como los valores genotípicos no se pueden medir directamente, tampoco lo son los valores genéticos. Sin embargo, podemos ***predecirlos*** utilizando datos de rendimiento. Una predicción de un valor genético se conoce como valor genético estimado o EBV (Bourdon, 1997; Lynch y Walsh, 1997).

Un padre transmite una muestra de la mitad de sus genes y, por tanto, una muestra de la mitad de los efectos independientes de estos genes a su descendencia. Debido a que el valor genético es la suma de los efectos independientes de todos los genes de un individuo que afectan un rasgo, un padre transmite, en promedio, la mitad de su valor genético a su descendencia. La mitad del valor genético del rasgo de los padres es nuestra expectativa de lo que se hereda del padre y se llama diferencia de progenie (DP) o capacidad de transmisión (TA). Otra forma de entender la diferencia de progenie es considerar el valor genético esperado (EBV) de un gameto producido por un individuo (Bourdon, 1997).

2.3.2.3 Propiedades aditivas de los valores genéticos y diferencias de progenie (DEP).

El valor genético de un animal o la diferencia de progenie para un rasgo es una función de los efectos independientes de los genes del animal que influyen en el rasgo "independiente", en este contexto, significa ***independiente*** de los efectos de otros genes. Debido a su independencia, estos efectos genéticos son aditivos en el sentido de que el valor genético del animal, las partes heredables de su valor genotípico para un rasgo, es simplemente la suma de los efectos independientes de los genes del animal que influyen en el rasgo (Simm, 1998).

2.3.2.4 Capacidad de producción

El valor genético es importante para la selección y el valor de la combinación genética es importante por su contribución al rendimiento animal. Para los caracteres repetidos (ejemplo en el control lechero) los individuos comúnmente tienen más de un registro de desempeño. También es importante otro valor conocido como capacidad de producción (PA). La capacidad de producir se refiere al potencial de desempeño de un individuo para un rasgo repetido (Falconer y Mackay, 2001)

2.3.2.5 El modelo genético de caracteres repetidos.

El modelo genético para los cuales los individuos normalmente tienen múltiples registros se puede escribir:

$$P = \mu + BV + GVC + E\rho + E\tau$$

Donde:

P = Valor fenotípico

μ = Media poblacional.

BV = Valor de la cría (Breeding value)

GCV = Valor de genes combinados

Eρ = Efecto ambiental permanente

Eτ = Efecto temporal ambiental

e= Residuo. (Bourdon, 1997; Lynch y Walsh, 1997).

2.3.2.6 Valores mejorantes estimados (EBV) y precisión de la selección.

Cuando la selección se lleva a cabo para cualquier carácter, el objetivo usual es seleccionar como progenitores aquellos animales que presentan los EBV más altos para ese carácter, de entre todos aquellos candidatos disponibles para la selección, de modo que se consiga el valor promedio de rendimiento más alto para ese carácter en la descendencia de los padres seleccionados. Si conociéramos exactamente el EBV real (llamado valor mejorante verdadero) de cada candidato, podríamos conseguir este objetivo con máxima eficiencia ordenando los candidatos de acuerdo a su verdadero valor mejorante y seleccionando aquellos colocados en los primeros lugares de la clasificación (Nicholas, 1996; Falconer y Mackay, 2001).

En la práctica sin embargo, no conocemos el verdadero VG para ningún carácter. En lugar de ello, todo lo que tenemos es uno o más indicios del verdadero VG del animal para varios caracteres. Estos indicios, que reciben el nombre de criterios de selección, consisten en una o más medidas del rendimiento (valores fenotípicos) tomados del mismo animal y/o de uno o más de sus parientes. Por medios que se describen más adelante, podemos utilizar estos indicios para EBV verdadero de cada animal para cualquier carácter, y los animales pueden entonces ser ordenados de acuerdo al EBV para el carácter de interés. Ordenando los animales de acuerdo a su EBV para un carácter particular, para ordenarlos de acuerdo con su VG verdadero para ese carácter. Cuanto más sea precisa la estimación, más precisa será la clasificación (Simm, 1998).

Es conveniente pensar en la precisión en una escala que va del 0%, donde los indicios no proporcionan información del VG, entonces el seleccionar estos animales en principio no produce en promedio una respuesta a la selección. En el otro extremo, si la precisión es del 100%, los animales estarán ordenados de acuerdo con su VG verdadero y la respuesta a la selección será máxima (Falconer y Mackay, 2001).

Hablando estrictamente, la precisión de la selección para cualquier carácter es la correlación entre los indicios disponibles y el valor mejorante verdadero para el carácter. El símbolo de la precisión es $r_{AC'}$ donde r es el símbolo usual de la correlación, A representa el valor mejorante verdadero y C corresponde a los indicios o criterios (Mrode, 2005; Lynch y Walsh, 1997).

2.3.2.7 Heredabilidad directa y respuesta a la selección

La heredabilidad directa o aditiva es la obtenida desde un programa de selección y corresponde a la varianza genética aditiva explotada durante la selección. Esta heredabilidad corresponde al cociente entre a la respuesta a la selección (**R**) y el diferencial de selección (**S**):

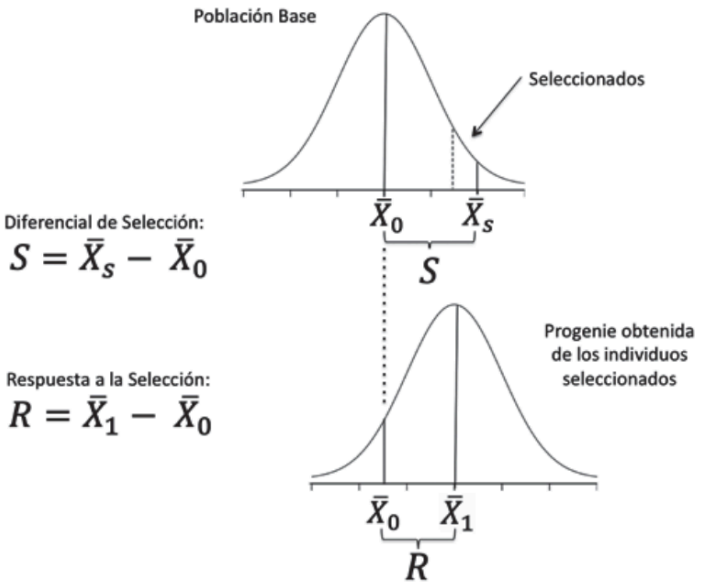
$\mathbf{h^2} = R/S$ (Castañeda y Rodríguez, 2018).

S corresponde a la diferencia entre el valor fenotípico promedio de los individuos seleccionados respecto de la media poblacional (S=mSEL-m0), mientras que **R** es la diferencia entre el valor

fenotípico promedio de la progenie (derivada de los seleccionados) con respecto de la media poblacional (**R**= mPRO-m0):

h^2 = R/S = (mPRO - m0) / (mSEL - m0) (Bourdon, 1997).

Todo esto se muestra en el siguiente esquema adjunto.



(Castañeda y Rodríguez, 2018).

Es importante conocer la cantidad proporcional de VA respecto de la variación fenotípica total (VP); es decir, conocer h^2, para predecir si la selección será o no efectiva, o sea, predecir R. Con base en la relación entre R y h^2 se puede estimar la respuesta *a priori* de cualquier experimento de selección, conociendo h^2 y S, pues $R = h^2 * S$ (Simm, 1998).

2.3.2.8 Indicios del valor mejorante de un candidato para un rasgo

A intervalos regulares durante un programa de selección, se presentan grupos de candidatos disponibles para la selección y que por tanto deben ordenarse en términos de su valor mejorante estimado (EBV) (Nicholas, 1996).

Existen muchos indicios potenciales del valor mejorante verdadero de un candidato. El indicio más simple y más comúnmente disponible es una única medida de su propio rendimiento. La medida del rendimiento de los candidatos recibe el nombre de **prueba de rendimiento** y la selección con base a los resultados de las pruebas de rendimiento recibe el nombre de **selección individual** o **selección masal.** Otros indicios potenciales del EBV de un candidato incluye medidas únicas en un pariente del candidato, por ejemplo, un padre, un hermano, un hijo o en un grupo de parientes tales como hermanos completos (denominados familia materna) o medios hermanos (denominados familia paterna). La selección basada en el rendimiento de un antepasado recibe el nombre de **selección por pedigrí o selección por ascendencia,** y la basada

en el rendimiento de los hermanos recibe el nombre de **selección fraternal.** Evaluar los candidatos con base al rendimiento de su descendencia se denomina **prueba de descendencia.** Para algunos caracteres es posible medir el rendimiento más de una vez en el mismo animal. El peso del vellón, por ejemplo, puede medirse cada año en cada oveja, y la aptitud maternal de las vacas de carne, medida como el peso de sus terneros al destete, puede medirse en la misma vaca cada vez que se desteta a un ternero. Tales caracteres se dice que son repetibles, y la correlación entre las medidas repetidas en el mismo animal se denomina repetibilidad, la cual tiene un rango de 0 a 100% (Simm, 1998).

Para cada una de estas fuentes de indicios, es posible deducir una expresión para la precisión de la selección. En todos los casos la precisión es una función de la heredabilidad; cuanto más elevada es la heredabilidad de un carácter, mayor es la precisión de la selección (Nicholas, 1996).

2.3.2.9 Caracteres correlacionados

La selección sobre un carácter produce casi siempre cambios en otros caracteres. Un cambio en un carácter no seleccionado resultante de la selección de otro carácter recibe el nombre de **respuesta correlacionada.** La magnitud de la respuesta correlacionada depende, entre otras cosas, de las correlaciones entre los dos caracteres, estas correlaciones tienen importantes implicaciones prácticas en los programas de mejora (Mrode, 2005; Posadas, 2012).

Primero, la dirección y la magnitud de las respuestas correlacionadas en un carácter no seleccionado depende del signo y la magnitud, respectivamente de la correlación genética entre el carácter no seleccionado y el carácter seleccionado. Por ejemplo, la correlación genética entre dos caracteres es negativa, un aumento en el carácter que está siendo seleccionado produce una disminución en el carácter no seleccionado.

Segundo, la existencia de correlaciones genéticas plantea la posibilidad de mejorar un carácter que es difícil o caro o incluso imposible de medir en condiciones prácticas, seleccionando para un carácter seleccionando otro recibe el nombre de **selección indirecta** (Muller y Cueto, 2010).

Tercero, la existencia de correlaciones genéticas proporciona una nueva fuente importante de indicios sobre el VG del candidato para el carácter a mejorar. De modo que incluso si el carácter a mejorar puede medirse fácil y económicamente en los propios candidatos, puede ser útil medir el rendimiento del candidato y/o de familiares para caracteres relacionados, y hacer uso de todas estas medidas cuando se estime el VG de los candidatos (Muller y Cueto, 2010; Posadas, 2012).

2.3.3 Selección por medio de BLUP, herramienta para conocer la EBV.

En muchas situaciones prácticas, para cada candidato se tiene un conjunto diferente de indicios, lo que significa que debe calcularse un conjunto diferente de indicios, que debe calcularse en conjunto diferentes valores para cada candidato antes de que los EBV puedan ser calculados (Nicholas, 1996; Bourdon, 1997).

La aplicación de los modelos mixtos se ha vuelto una atractiva herramienta para la evaluación de animales dentro de programas de mejoramiento genético. La metodología consiste en un marco que contiene propiedades estadísticas y genéticas justificables, las cuales generan los más precisos valores de cría y no confundidos con los efectos ambientales en los individuos analizados (***BLUP*** = Best Linner Unbiassed Prediction). La calidad de las evaluaciones depende de: 1 = los datos integrados por el registro de los grupos de manejo, la correcta identificación de los animales, asignación de parentesco y registros productivos), y 2 = Al modelo estadístico (Muller y Cueto, 2010).

Henderson, desarrolló la metodología BLUP, mediante la cual los efectos fijos y los valores genéticos pueden ser los de un índice de selección y la metodología se reduce a índices de selección cuando no se necesitan ajustes por factores ambientales. Las propiedades de BLUP están más o menos incorporadas en el nombre: **Mejor:** significa que maximiza la correlación entre el valor genético verdadero (a) y el previsto (A) o minimiza la varianza del error de predicción (PEV) (var(a-A)). **Lineal:** los predictores son funciones lineales de observaciones. **Imparcial:** la estimación de los valores realizados para una variable aleatoria, como los valores genéticos de los animales, y de las funciones estimables de efectos fijos son insesgadas (E(a=A)). **Predicción:** implica la predicción del verdadero valor genético (Mrode, 2005).

BLUP ha encontrado un uso generalizado en la evaluación genética de animales domésticos debido a sus deseables propiedades estadísticas. Esto se ha visto reforzado por el constante aumento de la potencia informática y ha evolucionado en términos de su aplicación a modelos simples, como el ***modelo macho***, en sus primeros años, y a modelos más complejos en los últimos años con el ***modelo animal*** que emplea efectos maternos, multivariados y de regresión aleatoria. Se han escrito y puesto a disposición varios paquetes informáticos de uso general para evaluaciones de BLUP como es el caso de desarrollar un plan de mejora genética, entre muchos otros (Posadas, 2012).

Afortunadamente, en la actualidad es posible calcular tantos valores diferentes como sean necesarios, y calcular los EBV todo en un único proceso, utilizando el método de estimación BLUP, lo que se describe cómo las propiedades estadísticas de las estimaciones obtenidas utilizando este método. En términos prácticos, los EBV obtenidos utilizando el método BLUP tienen todas las propiedades deseables de los EBV obtenidos a partir de un *Índice de selección convencional*. De hecho, el índice de selección convencional es un caso especial del BLUP. Sin embargo, el mérito real del método BLUP es más poderoso que la aproximación del índice de selección convencional (Nicholas, 1996; Lynch y Walsh, 1997).

La metodología BLUP tiene la propiedad de considerar la producción de los parientes para obtener los EBV´s más precisos. Por ello se torna necesario contar con la información de pedigree o parentesco entre los animales, incluso de aquellos que no son objeto de selección (ej. en nuestras producciones, típicamente las ovejas, las cuales se utilizan aquí para tener una mejor

EBV´s de los padres). Los modelos pueden extenderse para considerar efectos complicados de análisis como:

- Razas diferentes. Útil para evaluaciones "entre razas".
- Efectos maternos. Importante para características carniceras medidas hasta el destete.
- Caracteres correlacionados. Útiles para mejorar la precisión entre caracteres o considerar selección indirecta (ej. peso al destete – peso al año).
- Interacciones entre el genotipo y el ambiente. Algunos machos pueden tener un desempeño distinto en diferentes ambientes, principalmente en características carniceras.
- Varianzas heterogéneas. Las diferencias dentro de una característica entre animales en una unidad de producción podrían ser mucho más grandes que las mismas diferencias que en otra unidad de producción (Muller y Cueto, 2010).

2.3.3.1 Mejor predicción lineal insesgada del valor genético: modelos univariados con un efecto aleatorio.

Se examinó el uso del índice de selección (BLUP) para la evaluación genética: sin embargo, presenta algunas desventajas importantes. En primer lugar, es posible que los registros deban ajustarse previamente en función de factores fijos o ambientales y se supone que estos se conocen, pero por lo general no es conocido, especialmente cuando no existen datos previos para nuevas subclases de efectos fijos o nuevos factores ambientales. En segundo lugar, las soluciones a las ecuaciones de índice requieren la inversa de la matriz de covarianza para las observaciones y esto puede no ser computacionalmente factible para grandes conjuntos de datos (Mrode, 2005).

2.3.3.1.1 Desviación del rendimiento de la progenie (hija).

La desviación del rendimiento de una progenie contribuye indirectamente al VG de su padre después de que se ha combinado con información de otros padres y su descendencia correspondiente, por lo tanto, la contribución de la progenie es una medida regresiva y no es una medida independiente del desempeño de la progenie, ya que se incluye información de los padres y su progenie (Lynch y Walsh, 1997).

VanRaden y Wiggans (1991) indicó que una medida más independiente y regresiva del desempeño de la descendencia es la desviación del rendimiento de la progenie; sin embargo, fue llamada desviación del rendimiento de leche/día de hijas (DYD), ya que estaban trabajando con la situación del ganado lechero y de los registros solo estaban disponibles las hijas de toros. DYD puede definirse simplemente como un promedio ponderado del rendimiento de leche/día corregido de toda la progenie de un toro; la corrección es para todos los efectos fijos y los valores genéticos de los machos del padre (Mrode, 2005).

2.3.3.1.2 Modelo animal reducido.

La mejor predicción lineal e imparcial del VG implicó establecer ecuaciones para cada animal, es decir todos los padres y la progenie; por lo tanto, el orden de las ecuaciones de los animales fue igual al número de animales evaluados. Si las ecuaciones se establecieran sólo para los padres, esto reduciría en gran medida el número de ecuaciones a resolver, especialmente porque el número de padres suele ser menor que el número de descendencia en la mayoría de los conjuntos de datos. Los VG de la progenie se pueden obtener resolviendo a partir de los VG parentales previstos. Quaas y Pollak (1980) desarrollaron el modelo animal reducido (RAM), que permitió establecer ecuaciones sólo para los padres y los valores genéticos de la progenie se obtienen mediante resolución inversa a partir de los VG predichos de los padres. Esta sección presenta los antecedentes teóricos del RAM e ilustra su uso para la predicción de los VG (Falconer y Mackay, 2001).

2.3.3.2 La mejor predicción lineal insesgada del valor genético: modelos con efectos ambientales aleatorios

2.3.3.2.1 Modelo de repetibilidad

La repetibilidad (r) puede entenderse como la correlación entre medidas repetidas del mismo animal. Es una indicación del grado en que la superioridad de un animal con base a un registro, será observada en medidas subsecuentes del mismo animal. Está relacionada con el grado en que las diferencias entre individuos para una característica sean permanentes, esto es que permanezcan a lo largo de toda su vida del individuo (Van Vleck et al., 1987).

El modelo de repetibilidad se ha empleado para el análisis de datos cuando se registran múltiples mediciones del mismo rasgo en un individuo, como el tamaño de la camada en gestaciones sucesivas o la producción de leche en lactancias sucesivas. Como se ha citado anteriormente, la varianza fenotípica comprende la varianza genética (aditiva y no aditiva), más la varianza ambiental permanente y varianza temporal. Para un animal, el modelo de repetibilidad suele suponer una correlación genética de unidad entre todos los pares de registros. En la práctica, algunos de estos supuestos no se cumplen en el análisis de datos reales (Posadas, 2012).

2.3.3.2.2 Modelo con efectos ambientales comunes.

Aparte de las semejanzas entre los registros de un individuo debido a las condiciones ambientales permanentes (Mrode, 2005). Las circunstancias ambientales también pueden contribuir al parecido entre parientes. Cuando los miembros de una familia se crían juntos, como en el caso de las camadas de cerdos, comparten un ambiente común y esto contribuye a la similitud entre los miembros de la familia. Por lo tanto, la variación ambiental puede dividirse en el componente entre familias o entre grupos, generalmente denominado ambiente común, que causa semejanza entre los miembros de una familia, y la variación dentro de la familia o dentro del grupo. La fuente de variación ambiental común entre familias puede deberse a factores como la nutrición y/o las condiciones climáticas. Todo tipo de parientes están sujetos a una fuente ambiental de

semejanza, pero la mayoría de los análisis relacionados con este tipo de variación en la cría de animales tienden a explicar los efectos ambientales comunes asociados con hermanos completos o medios hermanos maternos, especialmente en estudios con cerdos y pollos (Lynch y Walsh, 1997).

2.3.3.3 Mejor predicción lineal insesgada del valor genético: modelos multivariados (MBLUP).

La selección del ganado suele basarse en una combinación de varios rasgos de importancia económica que pueden estar relacionados fenotípica y genéticamente. Estos rasgos se pueden combinar en un índice según el cual se clasifican los animales. Una evaluación de rasgos múltiples es la metodología óptima para evaluar animales en función de estos rasgos, ya que tiene en cuenta la relación entre ellos. Un análisis de rasgos múltiples implica la evaluación simultánea de animales para dos o más rasgos y hace uso de las correlaciones fenotípicas y genéticas entre los rasgos. (Lynch y Walsh, 1997; Falconer y Mackay, 2001).

Una de las principales ventajas del multivariado (MBLUP) es que aumenta la precisión de las evaluaciones. La ganancia en precisión depende de la diferencia absoluta entre las correlaciones genéticas y residuales entre los rasgos. Cuanto mayor sea la diferencia en estas correlaciones, mayor será la ganancia en precisión de las evaluaciones, por ejemplo, las correlaciones de heredabilidad, genética y ambiental para dos rasgos son iguales, las predicciones multivariantes son esencialmente equivalentes al del análisis univariado para cada rasgo. Además, los rasgos con menor heredabilidad se benefician más cuando se analizan con rasgos con mayor heredabilidad en un análisis multivariado (Nicholas, 1996).

También en algunos casos, el rasgo se utiliza para decidir si los animales deben permanecer en la unidad de producción y ser registrados por otros rasgos. Por ejemplo, sólo a los terneros con buen peso al destete se les puede permitir la posibilidad de que se registre su peso al año. Un análisis de un solo rasgo del peso al año estará sesgado ya que no incluye información sobre el peso al destete en el que se basó la selección. A esto se le suele llamar sesgo de selección (Falconer y Mackay, 2001). Sin embargo, un análisis de caracteres múltiples sobre el peso al destete y al año puede eliminar este sesgo.

El MBLUP puede representar el sesgo de selección. Una de las desventajas del análisis de rasgos múltiples es el alto costo informático. El costo de análisis múltiples de una cantidad de rasgos (n) es mayor que el costo de una cantidad de análisis únicos. En segundo lugar, un análisis de rasgos múltiples requiere estimaciones confiables de las correlaciones genéticas y fenotípicas entre los rasgos y es posible que éstas no estén fácilmente disponibles (Mrode, 2005).

2.3.4 Selección por métodos de la genética molecular

2.3.4.1 Modelo de regresión aleatoria

En genética cuantitativa, los modelos de regresión aleatoria (RRM) son herramientas estadísticas avanzadas que permiten analizar datos longitudinales, como los registros de producción de leche en ganado, para estimar parámetros genéticos y predecir valores genéticos. Estos modelos extienden los modelos de repetibilidad al permitir que el efecto genético aleatorio varíe en cada período de tiempo, sin aumentar significativamente la complejidad del modelo. Fueron propuestos inicialmente por Henderson (1984) como una alternativa para superar el problema de la sobre parametrización en los análisis multi caracteres.

Los RRM se basan en ecuaciones de modelos mixtos que incluyen efectos fijos y aleatorios. Por ejemplo, Schaeffer (2004) describe un RRM que contiene un conjunto de curvas fijas que describen la relación fenotípica entre los diversos grupos de individuos y un conjunto de regresiones aleatorias que incluyen efectos genéticos aditivos y efectos ambientales permanentes.

2.3.4.2 Selección de rasgos simplemente heredados

No siempre es posible conocer el genotipo exacto de un animal. Como resultado, gran parte del mejoramiento genético para obtener rasgos simplemente heredados implica métodos para determinar los genotipos de los individuos (Bourdon, 1997; Falconer y Mackay, 2001).

En países desarrollados, se emplean técnicas avanzadas como es la selección a través de rasgos simplemente heredados, en donde es necesario saber cuántos loci están involucrados, cuántos alelos en cada locus, así el cómo se expresan esos alelos y los fenotipos o genotipos probables de los padres potenciales. Con esta información, es relativamente sencillo seleccionar aquellos individuos con los genotipos más favorables (Nicholas, 1996).

2.3.4.3 Prueba de apareamientos de prueba de genotipos parentales

Cuando los genes que afectan a un rasgo simplemente heredado muestran una dominancia completa, los individuos homocigotos dominantes y heterocigotos no pueden diferenciarse por sus fenotipos, y la selección se vuelve más difícil. La selección sería menos problemática si existiera una manera de determinar qué animales son portadores del alelo recesivo. Sin embargo, hasta ese momento, la única manera de probar el genotipo de un animal era mediante apareamientos de prueba (Bourdon, 1997).

2.3.5 El modelo general mixto

El MM tiene la capacidad para manejar datos con estructura jerárquica o repetida, como las mediciones de producción de leche en diferentes ovejas a lo largo del tiempo. Por ejemplo, los efectos del manejo, la raza, la edad y las condiciones ambientales pueden considerarse efectos fijos, mientras que las variaciones individuales entre ovejas o entre lotes pueden tratarse como efectos aleatorios (Lynch y Walsh, 1997). Esto permite separar claramente la variabilidad

atribuible a cada fuente y obtener estimaciones más precisas de los factores que realmente influyen en la producción. Sin embargo, también existen desafíos. La correcta especificación del modelo, la calidad de los datos y la interpretación de los efectos aleatorios requieren cuidado y experiencia. Además, la implementación de estos modelos puede ser computacionalmente intensiva, especialmente en poblaciones grandes o con muchas variables. Sin embargo, cuando se trata de seleccionar animales para reproducción, el modelo mixto en sí no proporciona directamente los valores genéticos predichos, sino que es una herramienta para estimar efectos y varianzas. (Falconer y Mackay, 2001)

Existen otros factores que son difíciles de incluir en los modelos, por ejemplo, el tratamiento preferencial de algunos animales (hormonas, preparaciones para exposiciones, etc.), una enfermedad grave al momento de la medición, etc. (Muller y Cueto, 2010).

Se considera un vector de columna y que contiene los valores fenotípicos de un rasgo medido en "n" individuos, suponemos que estas observaciones se describen adecuadamente mediante un modelo lineal con un vector ρ x 1 de efectos fijos (β) y un vector $q\ x\ 1$ de efectos aleatorios (u). el primer elemento del vector "B" suele ser la media poblacional y otros factores incluidos pueden ser el sexo, la ubicación, el año de nacimiento, el tratamiento experimental, etc. Los elementos del vector u de efectos aleatorios suelen ser efectos genéticos, como valores genéticos aditivos (VG). En matriz de:

$$y = X\beta + Zu + e$$ (Lynch y Walsh, 1997)

Donde **X** y **Z** son respectivamente matrices de incidencia $n\ x\ p$ y $n\ x\ q$ (**X** también se llama matriz de diseño), y e es el vector columna $n\ x\ 1$ de desviaciones residuales que se supone se distribuyen independientemente de los efectos genéticos aleatorios. Generalmente, todos los elementos de las matrices de incidencia son iguales a 0 o 1, dependiendo de sí el efecto relevante contribuye al fenotipo del individuo. Debido a que este modelo toma en cuenta conjuntamente los efectos fijos y aleatorios, generalmente se le conoce como ***modelo mixto*** (Falconer y Mackay, 2001; Damas, 2022).

Brevemente, si consideramos ahora las medias y varianzas de los vectores, que son componentes del modelo mixto, ya que $E(u)$ o $E(e)$ = 0 por definición, $E(y) = XB$. Denotemos la matriz de covarianza $(n\ x\ n)$ para el vector "e" de errores residuales por R y la matriz de covarianza $(q\ x\ q)$ para el vector u de efectos genéticos aleatorios por G. Excluyendo de la ecuación la diferencia entre individuos debido a efectos fijos y el supuesto de que u y e no están correlacionados, la matriz de covarianza para el vector de observaciones y es $V = ZGZ^T + R$ (Lynch y Walsh, 1997)

El primer término representa la contribución de los efectos genéticos aleatorios, mientras que el segundo representa la varianza debida a los efectos residuales. Generalmente asumimos que los errores residuales tienen varianza constante y no están correlacionados, de modo que R es una

matriz diagonal, con $R = \sigma_{\varepsilon}^{2} I$. (Lynch y Walsh, 1997). Ahora estamos en condiciones de contrastar el modelo mixto y el modelo lineal general. Bajo el modelo lineal general.

$$y = X\beta + Zu + e^{*} \quad \text{donde} \quad e^{*} \sim (0,V) \quad \text{implica} \quad y \sim (X\beta, V)$$

2.4 Registros productivos

Son registros productivos aquellos que se llevan a cabo para evaluar la rentabilidad y ganancia de peso o producción de leche en una empresa ganadera. Para ganado lechero los registros productivos se basarán en la producción diaria de leche e igualmente serán comparados con los resultados de la unidad de producción. Hacen parte de los registros productivos aquellos de ganancia de peso (diferentes etapas), ganancia de peso diario, nacimientos, producción de leche, etc (Peña, 2022; Bustamante et al., 2023).

Los registros productivos y reproductivos son indispensables para medir la rentabilidad en la ganadería, después de integrar los datos particulares de cada producción y animal, basándose en su identificación, permitirá la observación y comparación de los parámetros productivos y reproductivos esperados (Peña, 2022).

En general, pueden ser definidos como un formato sistematizado de captura de información, acerca del origen, manejo, comportamiento y destino de los animales, y cuyo objetivo es el de auxiliar al productor en la toma de decisiones. Ningún registro debería ser omitido por la empresa ganadera, es importante resaltar además que los propietarios de las ganaderías deben llevar estos con responsabilidad para el correcto seguimiento de su rentabilidad (Peña, 2022). Esto permitirá una evaluación rápida de la gestión empresarial para decidir respecto a la marcha del predio, tanto en su manejo técnico como económico (Hazard y Rojas, 1988).

Es importante señalar que es condición absoluta que exista un método real de identificación de los animales. Todos deben tener nombre y/o número, el que se coloca en un autocrotal o tatuaje. Por ejemplo, en caso que el número de vientres sea mayor a cincuenta, se debe colocar doble numeración, ya sea con dos autocrotales o un autocrotal y tatuaje. Esta es la única forma de lograr una mantención de la continuidad del sistema (Posadas, 2012).

Los registros se obtienen a partir de la medición u observación de parámetros productivos, reproductivos y sanitarios en el rebaño ovino, los cuales son fundamentales para el manejo general de la producción, pues son la principal fuente de información para implementar medidas que procuren el mejoramiento de la productividad y de la rentabilidad. No obstante, es necesario que estos datos sean fiables, constantes y precisos. Los registros de reproducción, salud y producción, son útiles para identificar qué animales son más productivos y cuáles deben ser reemplazados (Bustamante et al., 2023).

En general, para el caso de las lecherías, se debe llevar algún registro y controles que permitan:

l. Conocer el nivel productivo de los animales y praderas.

2. Estimar la eficiencia de la producción de leche.

3. Calcular la fertilidad del rebaño y tasa de incremento del mismo.

4. Aplicar un programa de selección y mejoramiento animal.

Estos registros serán útiles solo en la medida que permitan determinar: eficiencia reproductiva, estado sanitario del rebaño, genotipos y características del parto (Hazard y Rojas, 1988).

2.5 Métodos en mejoramiento genético a través de criterios de selección en ovejas lecheras.

La mejora genética del rendimiento y la calidad de la leche es uno de los objetivos fundamentales en los actuales sistemas de producción del ovino lechero (Arias et al., 2016). El mejoramiento genético animal tiene por objetivo utilizar activamente la variación genética disponible dentro o entre razas. Esta variación genética puede utilizarse para alcanzar los intereses o deseos de los productores para generar animales productivos más eficientes dentro de un contexto económico, social y ecológico determinado.

Esta dirección deseada es formalizada a través de la formulación de un objetivo de mejora genética el cual permitirá definir cuáles son los mejores animales que representan ese objetivo. Una vez definido el objetivo de mejora será necesario establecer un sistema para identificar los mejores animales para su posterior utilización en un sistema de apareamiento. Estos conceptos son fundamentales para el diseño de un plan de mejoramiento genético. La implementación del plan generalmente implica tareas y responsabilidades técnicas, operacionales y, según el marco de aplicación, políticas acordes para su correcto y efectivo funcionamiento (Muller y Cueto, 2010).

A nivel productivo, la implementación de un plan de mejoramiento genético sólo será efectiva cuando el manejo, la alimentación, la sanidad y la reproducción de los animales se encuentren en correcto funcionamiento. Por otro lado, un plan de mejora debe ser flexible y susceptible de ser revisado periódicamente. Para ello debería contemplar el establecimiento y la consolidación de un ámbito de discusión permanente. La experiencia indica que en tal ámbito deben participar los responsables directos del mejoramiento genético (criadores, centros de inseminación, etc.) como así también especialistas en el tema (genetistas, instituciones de investigación, extensión y docencia, etc.) aparte de los correspondientes funcionarios (Muller y Cueto, 2010; Hazard y Rojas, 1988).

La calidad de la leche de oveja ha sido valorada tradicionalmente en base a sus parámetros de composición fisicoquímica como grasa, proteína y extracto seco (Evangelista, 2025).

A continuación, se muestran los datos promedio encontrados en México en ovejas híbridas en el Estado de Querétaro (Evangelista, 2025; González, 2025).

2.5.1 Rendimiento de leche

Se observan los rendimientos productivos de diferentes razas y/o cruzas en ovejas lecheras que van de 396 a 1,560 g/d, que son referencia de países que tienen tradición en la producción de leche en Europa, utilizando como herramientas técnicas: el control lechero, la inseminación artificial (IA), la comprobación de filiaciones (genealogía) y la valoración genética mediante metodología BLUP (Arias et al., 2016). El control lechero consiste en un control cada cuatro semanas en explotaciones con dos ordeños sobre la cantidad de leche producida, alternándose un mes en el ordeño de la mañana y al mes siguiente en el de la tarde (Evangelista, 2025).

No es común que la leche fluida sea ingerida, ya que en general se consume como yogurt y queso, o bien para el rendimiento en queso, que es del 20% (5:1), en comparación al 14% (7:1) de la leche de cabra y al 10% (10:1) de la leche de vaca (García y Coll, 1976). La producción lechera en la oveja aumenta rápidamente en las primeras semanas, alcanzando el pico máximo en la tercera semana de lactancia (Bencini y Purvis, 1990; Bencini et al., 1992).

2.5.2 Composición de la leche

Altos contenidos de proteínas, grasa, lactosa y sólidos totales en la leche están asociados con altos rendimientos en los productos lácteos, por lo que la leche de oveja tiene mayor rendimiento quesero con respecto a la vaca o cabra (Suarez y Busetti, 1999), como se ha citado.

Es más viscosa, característica ligada a la riqueza de sus componentes. Al igual que la leche de cabra, la leche de oveja tiene una alta proporción de glóbulos de grasa de tamaño pequeño, por lo cual es de fácil digestión (García y Coll, 1976).

2.5.2.1 Grasa

La leche de oveja tiene mayor cantidad de grasa y es de excelente calidad puesto que son glóbulos grasos pequeños y de más fácil digestión. Asimismo, contiene mayor proporción de ácidos grasos de cadena corta (Mehta, 2015).

De todos los componentes químicos presentes en la leche de oveja el contenido de grasa es la que muestra mayor variabilidad y cantidad, que depende de varios factores al que se enfrenta el animal siendo el manejo alimenticio y nutricional el más importante (Ángeles et al., 2020).

Uno de los aspectos de composición más interesantes ligados a la leche de los pequeños rumiantes, es referente a la naturaleza de su grasa. La leche de oveja y cabra presenta una grasa cuyo contenido en los llamados triglicéridos de cadena media (MCT), triglicéridos formados por ácidos grasos cuya cadena carbonada tiene entre 6 y 14 átomos de carbono, alcanzando normalmente, un porcentaje mayor del 30%, a diferencia de la leche de vaca que no alcanza de estos compuestos más del 20%. Estos MCT muestran un interés particular desde un punto de vista terapéutico, a causa de su utilidad en determinadas enfermedades metabólicas (Haenlein, 1992).

La grasa láctea está formada en su mayoría por triglicéridos (98.7% del total), diglicéridos, monoglicéridos y ácidos grasos libres, que es una gran fuente de energía y buena fuente de vitaminas liposolubles y ácidos grasos esenciales, que es la encargada de darle un sabor deseable o no deseable a algunos productos lácteos derivados de ella y puede variar en menos del 3.0% y más del 6.0% de un rango mucho mayor que cualquier otro componente de la leche (Castiella et al., 2004).

La cantidad de grasa de la leche se incrementa con el progreso de la lactancia, y los ácidos grasos presentes en la misma evolucionan en función de la longitud de la cadena carbonada (Molina, 1987). En el cordero lechal, dado que el rumen todavía no está desarrollado, los ácidos grasos de la dieta no son extensivamente hidrogenados como ocurre posteriormente, por lo que se depositan en proporciones semejantes a los de la leche consumida (Vernon, 1980; Banskalieva et al., 1989).

2.5.2.2 Proteínas

Las proteínas están formadas por aminoácidos y constituyen una clase importante de compuestos que son esenciales para todos los procesos vivos. Las proteínas de la leche constituyen una de las mayores aportaciones a la nutrición humana y se clasifican en dos grandes grupos: la caseína que representa el 80% y la proteína del suero que representa el 20% del total de la leche (Mehta, 2015).

Dado que el interés de la leche de los pequeños rumiantes, radica esencialmente, en que constituye una leche industrial, que se deriva en su mayor parte a la industria de transformación, especialmente para la fabricación de queso, las proteínas más interesantes resultan ser las caseínas, proteínas coagulables, que determinan el rendimiento de fabricación e indican por tanto, la calidad tecnológica de la leche en cuestión (Jaudal, 1996).

Por caseínas se entiende a un grupo de proteínas de la leche, caracterizado por presentar uniones ester-fosfato, un alto contenido en prolina y bajo en cisteína. Como indican Walstra y Jennes (1984) resulta difícil el definir de manera precisa, a las caseínas de una leche en razón a su composición. Una definición práctica es la que indica que se trata de proteínas lácteas que precipitan a un pH=4.6, quedando constituidas por partículas complejas en forma de miscelas. Las proteínas que permanecen en solución a pH=4.6, son las del lactosuero, formadas por α-lactoalbúmina, β-lactoglobulina, inmunoglobulina, péptidos y otras proteínas menores, algunas con carácter enzimático (Walstra y Jennes, 1984).

2.5.2.3 Lactosa

La lactosa es el carbohidrato más importante en la leche de todas las especies animales, es el azúcar principal, le da un sabor ligeramente dulce por ser un disacárido reductor constituido por glucosa y galactosa, siendo esta la principal fuente de carbono de la mayoría de los microorganismos que se desarrollan en la leche (Wastra y Jennes, 1984).

La lactosa representa prácticamente la totalidad de los glúcidos de la leche de oveja y es el tercer componente cuantitativamente más importante, constituyendo de 45 a 50 g/kg equivalente del 22 al 27% del extracto seco total en la leche en comparación con leche de vaca que representa del 33 al 40% (Ramos y Juárez, 2003). En la elaboración de queso, la lactosa es el sustrato que las bacterias necesitan para que se desarrollen las fermentaciones lácticas, propiónica, butírica y alcohólica, en las que se obtiene ácido láctico, anhídrido carbónico, alcohol, ácido propiónico, ácido butírico y demás compuestos, que proporcionarán al queso sabores y aromas particulares (Ramos y Juárez, 2003). La lactosa es un valioso nutriente ya que favorece la absorción intestinal del calcio, magnesio, fósforo y la utilización de la vitamina D (Campbell y Marhall, 1975).

2.5.2.4 Conteo de Células Somáticas (CCS)

La infección intramamaria es la principal causa de un aumento del CCS en la leche de los rumiantes lecheros. El sistema inmunitario innato pone en juego una serie de citocinas fundamentales en el reclutamiento temprano de células polimorfonucleares a la glándula mamaria en respuesta a los patógenos invasores de la mastitis. El aumento del CCS debido a la etapa de la lactancia y el número de partos en vacas y ovejas es principalmente el resultado de infecciones intramamarias. Si bien la infección intramamaria aumenta el CCS en las cabras, otros factores no infecciosos como el estro, la estación del año y la producción de leche pueden influir en el aumento del CCS (Paape et al., 2007).

Está relacionado directamente con la salud del animal. Sólo un 10% de las mismas corresponden a células de la glándula mamaria, mientras que el 90% restantes son células de la sangre que forman parte del mecanismo de defensa natural e incluyen linfocitos, macrófagos y células polimorfonucleares, que normalmente contribuyen a las defensas inmunitarias de la glándula, pero su número aumenta considerablemente en la presencia de mastitis (clínica y subclínica). La calidad de la leche se puede evaluar de acuerdo con parámetros higiénicos, nutricionales, tecnológicos y sensoriales. Los principales parámetros que se controlan rutinariamente en las granjas lecheras son: composición nutricional, conteo de células somáticas (CCS), recuento bacteriano, prácticas de adulteración y residuos de agentes antimicrobianos o químicos; además, el sabor, el gusto, la apariencia y la temperatura también son importantes (Albenzio et al., 2019).

Observar que exista un aumento del CCS, la salud del animal en general y de la glándula mamaria en particular afecta la cantidad y calidad de leche producida, teniendo un impacto económico, produciendo cambios cualitativos en la composición, esto debido a que se encuentra disminuida la capacidad secretora de la glándula y por un aumento de la permeabilidad del epitelio mamario que causa un pasaje de los componentes de la sangre directamente a la leche (Harmon, 1995). Un CCS alto se manifiesta en los componentes produciendo una disminución de la concentración de grasa, caseínas y sólidos totales, con un aumento del nitrógeno total, no proteico, proteínas en el suero, etc. Los minerales, en particular el cloro, aumentan y disminuyen el potasio, fósforo, ácido cítrico y el magnesio, acompañado de un incremento del pH. Sobre el

efecto del alto CCS sobre la calidad de los quesos, existe un trabajo realizado en leche de oveja por Pirisi et al. (1994), donde no encontró alteraciones después de 2 meses de maduración.

Un CCS elevado es consecuencia de un proceso inflamatorio debido a la presencia de una infección intramamaria (IMI) o en condiciones no patológicas debido a procesos fisiológicos como el estro o una etapa avanzada de la lactancia. Por esta razón, el CCS de la leche representa un marcador sensible de la salud de la ubre y se considera un parámetro útil para evaluar la relación entre la IMI y los cambios en las características de la leche (Raynal-Ljutovac et al., 2006).

El CCS de la leche es la base de los programas de control de la leche anormal para vacas, cabras y ovejas. En los Estados Unidos (EEUU) el límite legal del CCS establecido por la Administración de Alimentos y Medicamentos para las vacas es de 750.000 - 1 mL y para las cabras y ovejas de 1.000.000 - 1 mL. En la Unión Europea (UE) (Directiva 92/46ECC Council, 1992) el límite legal para las vacas es de 400.000 1 mL y no existe ningún límite legal para las cabras y ovejas. Ariznabarreta (1999), clasificó las explotaciones en función del CCS en la leche de tanque, relacionándolo con la prevalencia de mastitis subclínica (cuadro 1). Así considera un rebaño con buen estado sanitario cuando obtiene valores de CCST x 10^6 cel/mL, que estaría relacionado con una prevalencia del 30% en glándulas y un 45% en ovejas afectadas. En España Arias (2009), referencia en un 39% las ganaderías de raza Manchega en control lechero con CCST > 10^6 cel/mL, porcentaje superior al 27% citado por Ramón et al. (2004). González (2025), en el estado de Querétaro, México, indicó que en una unidad de producción las razas híbridas de Awassi, East Friesian y Lacaune, presentaron una media de 328.61 $\pm$ 426 en el CCS. El CCS se ha convertido en un parámetro aceptado para la evaluación de la calidad de la leche y como una herramienta de gestión para los productores lecheros de todo el mundo (Raynal-Ljutovac et al., 2006; Paape et al., 2007).

3. JUSTIFICACIÓN

La selección de ovejas lecheras tiene como principal objetivo el aumento de la producción lechera como medio para incrementar la rentabilidad económica, al igual que la calidad de la leche. En países altamente productores de leche de oveja, se llevan registros de pedigrí y productivos de las ovejas, lo que les permite identificar a los mejores reproductores, a través de diferentes métodos como son los índices de selección, entre otros la metodología con modelos mixtos, BLUP´s, etc. En México son escasas las unidades de producción dedicadas a la producción de leche ovina que lleven registros genealógicos y productivos completos, por lo que la selección se realiza de forma subjetiva utilizando métodos visuales y morfológicos de la oveja o de la ubre, dejando fuera los aspectos productivos. No se cuenta con estudios completos y confiables donde se identifiquen ovejas altamente productoras, siendo sus crías las que sean los futuros reemplazos de un rebaño productivo. El estudio pretende identificar, aplicando metodología matemática, aquellas ovejas que sean altamente productivas dentro del rebaño, obteniendo de ellas, como se ha mencionado, un índice de selección.

Cuantificar el impacto de la estrategia de selección de animales como candidatos para formar la población de referencia sobre la respuesta a la selección en el ganado ovino sometido a análisis estadístico de modelo mixto. Una correcta clasificación de ovejas en la unidad de producción lechera, basándose en registros de producción y pedigrí, trae consigo un cambio positivo eficiente y constante que se refleja en una mayor rentabilidad.

4. HIPÓTESIS:

La aplicación del modelo mixto es un método alterno, de primera mano y confiable para identificar y seleccionar ovejas lecheras altamente productivas, a través del análisis de criterios de selección como son el rendimiento y calidad de la leche.

5. OBJETIVO GENERAL

Identificar y seleccionar ovejas lecheras altamente productivas en un rebaño comercial a través de un modelo mixto, analizando el rendimiento y calidad de la leche, con la finalidad de incrementar la rentabilidad de la unidad de producción.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Material animal.

Se utilizaron muestras de leche de 149 ovejas multíparas híbridas de las razas Awassi (AW), East Friesian (EF) y Lacaune (LC), con una edad promedio de 3.5 años. Las ovejas se alimentaron a las 10 am y 3 pm con una dieta a base de concentrado el cual incluye; maíz, canola, soya, salvado, calcio, sesquicarbonato, ortofosfato y minerales de la empresa Nutec, mezclado con ensilado de maíz y malta de cebada. Las muestras fueron obtenidas por el periodo de lactación de 24 semanas del Rancho San Francisco en el municipio de Colón, Estado de Querétaro. Para el control lechero, la toma de muestras se realizó entre un periodo de dos a cuatro semanas.

Material de recolección de muestras.

- Frascos colectores de 50 mL para el análisis de la calidad de la leche.

- Toallas desechables para limpieza de pezones.

- Guantes de nitrilo.

- Alcohol de 96°.

- Algodón.

- Hielera.

6.2 Instalaciones y equipo de laboratorio.

Se contó con una sala de ordeño mecánica tipo paralelo con 40 espacios para ordeñar simultáneamente (DeLaval) (Imagen 9), equipados con cilindros medidores individuales de rendimientos de leche. Como equipos de laboratorio, se utilizó un analizador de leche Economilk Bond Total 40s fabricado por Tauber® (Imagen 10), para obtener los parámetros de medición de los porcentajes de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos, mientras que para el conteo de células somáticas (CCS x 10^3), se empleó un equipo Ekomilk somatic cells analyzer Scan fabricado por Tauber® (Imagen 11). Los equipos de laboratorio fueron esenciales para obtener la información de primera mano para llegar a los objetivos derivados del Proyecto Productivo No. 6973 de la Universidad Autónoma del Estado de México.

6.3 Material de campo.

- Registros del control lechero de los rendimientos individuales (cantidad y calidad de leche).

- Libretas de campo.

- Etiquetas y plumones indelebles.

- Excel.



Imagen 9. *Sala de ordeño mecánica de tipo paralelo, Rancho San Francisco, municipio de Colón, Estado de Querétaro.*



Imagen 10. *Analizador de leche Economilk Bond Bond Total 40s*



Imagen 11. *Ekomilk somatic cells analyzer Scan*

6.4 Método.

El registro de los datos de rendimientos productivos y la toma de muestras para los análisis de calidad de la leche, se realizó dentro de la unidad de producción (semintensiva) en el rancho San Francisco, municipio de Colón, estado de Querétaro. El ordeño mecánico se realizó en un horario entre las 08:00 a 11:00 am en una sala de ordeño de foso de 2 × 20 con sistema Casse de línea alta de una máquina de ordeño con sistema al vacío (Milking Systems FLACO Inc. Imagen 14), configurada para proporcionar 180 pulsaciones por minuto en una relación 50:50 con un nivel de vacío de 37 kPa y depósito en el contenedor tanque de enfriamiento de la leche (Alfa Laval Agri Inc. Kansas City, MO). Posterior al ordeño, ambos pezones fueron sellados con una solución de clorhexidina.

Para la toma de muestra individual para realizar el análisis de la calidad de la leche fue a través de un vaso recolector de 40 mL, se llevaron al equipo del analizador de leche y del contador de células somáticas.

Para la toma de muestra, se utilizaron guantes de cirujano no estériles de nitrilo (Imagen 13), se realizó la limpieza de pezones con una toalla desechable, se descartaron los primeros chorros de leche para reducir el número de bacterias en el canal del pezón. Se desinfectó todo el pezón con un algodón impregnado en alcohol. Limpiando a fondo el extremo del pezón con un algodón limpio e impregnado en alcohol y se repitió de ser necesario, hasta que el algodón saliera limpio. Sin tocar el pezón, se recolectaron 40 ml de muestra de leche del recipiente-vaso estéril. Terminado, fueron sumergidos completamente ambos pezones en una solución desinfectante (Clorhexidina). Previamente los recipientes vaso estéril fueron identificados con el ID de la oveja utilizando marcador permanente y se llevaron donde se encontraba el equipo analizador de calidad de la leche (Thomas et al., 2012).



Imagen 12. *Preparación e identificación de las ovejas previo inicio de la ordeña.*



Imagen 13. *Toma de muestra de leche y etiquetado en vaso estéril*



Imagen 14. *Máquina de ordeño al vacío Milking Systems FLACO Inc.*

6.5 Edición de la información y análisis estadístico.

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ijklmn} = \mu + Gg_i + Nl_j + Tp_k + Sx_l + \beta1(x_{ijklm} - \bar{x}) + \beta2(x^2 X_{ijklm} - \bar{x^2}) Id_m + e_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklmn} = rendimiento de leche de la oveja normalizada a 120 días de lactación, % grasa, % proteína, % lactosa, % sólidos no grasos y CCS.

μ = Media general.

Gg_i = Efecto fijo del i-ésimo nivel del factor tipo racial de la oveja, (n=5).

Nl_j = Efecto fijo del j-ésimo nivel del factor número de lactancia (n=6).

Tp_k = Efecto fijo del k-ésimo nivel del factor tipo de parto (n=2).

Sx_l = Efecto fijo del l-ésimo nivel del factor sexo(s) de la cría(s) (n=4).

$\beta1(x_{ijklm} - \bar{x})$ = Coeficiente de regresión lineal de la covariable: días de lactancia.

$\beta2\ (x^2 X_{ijklm} - \bar{x^2})$ = Coeficiente de regresión cuadrático de la covariable: días de lactancia.

Id_m = Efecto aleatorio del n-ésimo nivel del factor de la oveja (efecto aditivo).

e_{ijklm}= Residuo.

7. LÍMITE DE ESPACIO.

El Rancho San Francisco está ubicado en el municipio de Colón, estado de Querétaro, se localiza a una altitud de 1,970 msnm con una temperatura anual de 17.4°C, durante los meses de mayo y junio se registra la temperatura más alta (33°C). El extremo opuesto se registra en los meses de diciembre a enero con 0°C, clima templado semiseco. La temporada húmeda dura 4 meses, del 2 de junio al 4 de octubre y la temporada más seca dura 8 meses, siendo del 4 de octubre al 2 de junio. El suelo es de tipo volcánico, habiendo tepetate, obsidiana, basalto en las zonas altas, grandes variedades de ópalo y vetas de diferentes minerales.



Imagen 15. *Vista panorámica del Rancho San Francisco, Municipio de Colón, Estado de Querétaro*

8. LIMITE DE TIEMPO

Actividad	Ago-2024	Sep-2024	Oct-2024	Nov-2024	Dic-2024	Ene-2025	Feb-Jun 2025
l. Control lechero individual del rendimiento y toma de muestras de leche.							
ll. Análisis de calidad de la leche (% de grasa, % proteína, % de lactosa, % sólidos totales y CCS x 10^3).							
lll. Registro de datos en una hoja de excel y su edición.							
lV. Análisis de estadística descriptiva y estadística inferencial y evaluado de los rendimientos y calidad de la leche en los diferentes genotipos estudiados.							
V. Redacción de tesis (Resultados, discusión y conclusiones).							

9. RESULTADOS

Es importante realizar estudios sobre las diferencias que puedan presentarse en la producción y la composición de la leche en razas y/o grados de sangre de ovejas especializadas, con énfasis a identificar individuos y genotipos con mejores rendimientos.

Los resultados que se presentan a continuación, representan lo encontrado en 149 ovejas (se alcanzó un promedio de 4.8 muestras/oveja) durante 180 días de lactancia. En el cuadro 4, se presenta la estadística descriptiva de los componentes principales de la leche en ovejas híbridas Awassi (AW), East Friesian (EF) y Lacaune (LC).

Cuadro 4. Estadística descriptiva de los componentes de la leche en ovejas híbridas híbridas Awassi, East Friesian y Lacaune.

Variable	n	Media ± D.E	Min - Max	CV (%)
% Grasa	712	7.96 ± 2.04	1.56 - 22.02	25.65
% Proteína	712	5.79 ± 2.96	1.07 - 33.64	51.05
% Lactosa	601	6.85 ± 0.69	3.39 - 8.78	10.08
Sólidos totales	712	19.64 ± 4.35	0 - 36.53	22.15
CCS $X10^3$	629	333.37 ± 429.60	80 - 1600	128.87
Producción (l/d)	629	0.54 ± 0.33	0 - 2.2	60.60

Los resultados encontrados y presentados en el cuadro 4 son semejantes a los encontrados en diferentes estudios en países con tradición en la producción de ovejas lecheras. Sin embargo, García et al. (2019) en el estado de Guerrero, registró bajo condiciones semi-intensivas en ovejas criollas obispo dentro de trópico seco los siguientes valores, para % grasa, % proteína, % lactosa, % sólidos totales (2.49 ± 0.19, 5.73 ± 0.07, 4.59 ± 0.01, 13.66 ± 0.19, respectivamente).

Selección de ovejas con altos índices productivos.

A continuación en el cuadro 5, se presentan los índices de selección (en orden) que fueron obtenidos de 149 ovejas analizadas para la producción y los componentes de la leche: porcentajes de grasa, proteína, lactosa, sólidos totales, producción de leche y conteo de células somáticas (CCS, x 10^3). Las primeras dos columnas indican la línea genética y la identificación (ID) de la oveja, respectivamente. En este caso particular seleccionando al mejor 25% de la población analizada, fueron seleccionadas para cada variable las primeras 37 ovejas (1er cuartil). Para ello, se obtuvo un promedio genético de la población total analizada, que para efectos del índice de

selección será el valor cero (“0”). Para representarlo, los valores que han sido marcados en color verde indican ovejas (25%) con una mayor productividad de la oveja en la variable analizada del componente de la leche, mientras que aquellos valores sin color (75% de las ovejas) refiere a los componentes que no fueron sobresalientes para aquella(s) variable(s).

Para efectos del presente estudio, las ovejas que fueron sobresalientes y fueron posicionadas de acuerdo a los mejores rendimientos y los componentes de su calidad de la leche, se encontrarán en el primer cuartil. En el cuadro 5, la primera oveja identificada como ID **523761** obtuvo cinco de los seis criterios de selección, mostrando que sus valores genéticos evaluados estuvieron por encima del promedio de la población analizada, por ejemplo, su valor genético (VG) de + 0.394 en % de grasa, así para % de lactosa, % de sólidos totales, kg de producción de leche y CCS $x10^3$, (+0.230, +1.923, +0.125, -46.526 respectivamente) con respecto al promedio genético de la población analizada.

En contraste y como ejemplo (las ovejas que se encuentran en el último y al final de cuarto cuartil) haciendo referencia a la última oveja evaluada (ID **528308**) que se muestra en el cuadro 5, se observó que todos los valores genéticos de las variables analizadas estuvieron por debajo del promedio genético de la población analizada, siendo su valor genético (VG) fue de -0.050% en grasa, así para % proteína, sólidos totales, producción de leche y CCS x 10^3 (-1.431%, -0.559%, -0.168, +75.350, respectivamente). Es importante recordar que a mayor CCS x 10^3, mayor presencia de mastitis subclínica en las ovejas, la cual a su vez está relacionada con una menor productividad en rendimientos de producción y calidad de la leche (Tardánguila y Gonzalo, 1999).

A partir de este índice, el productor y con asesoría del Médico Veterinario Zootecnista claramente pueden seleccionar con mayor certeza aquellas ovejas altamente productoras dentro del rebaño, manteniéndolas dentro de la unidad de producción y como punto de inicio en el seguimiento de sus crías hembras como futuros reemplazos. Por lo contrario, aquellas con bajos rendimientos productivos serían eliminadas del rebaño para que en el futuro inmediato sean sustituidas como se ha precisado por los reemplazos hijas de aquellas ovejas identificadas como sobresalientes.

Como se puede observar en el índice de selección obtenido, indica el al menos el 25% de las ovejas sobresalientes, muestran al menos 2 criterios de selección, correspondiente a variables de gran importancia económica. Claramente cómo se observa en el cuadro 5, conforme se va dando paso al 2°, 3° y 4° cuartil, podemos identificar ovejas con menores rendimientos productivos. Es importante destacar que dando seguimiento en un segundo período productivo (repeticiones), estos valores podrán ser más precisos.

Cuadro 5. Índices de selección para la producción y los componentes de la leche: porcentajes de grasa, proteína, lactosa y conteo de células somáticas (CCS, x 10^3).

Grupo genético	ID oveja	% grasa	% proteína	% lactosa	% sólidos totales	Kg leche/día	CCS x10^3	# VG
1/2 EF + 1/2 LC	523761	0.394	-0.576	0.230	1.923	0.125	-46.526	5
3/4 LC + 1/4 EF	462632	0.023	-1.074	0.226	1.428	0.147	-107.709	4
3/4 EF + 1/4 LC	523665	-0.010	2.366	0.172	-0.489	0.101	-43.542	4
1/2 EF + 1/2 LC	2445	0.238	-0.286	0.228	1.509	0.061	-31.397	3
3/4 LC + 1/4 EF	460820	0.461	0.118	0.020	1.083	-0.088	-53.784	3
3/4 EF + 1/4 LC	476473	0.387	-0.613	0.221	1.459	-0.100	45.599	3
1/2 LC + 1/2 AW	482022	0.213	-0.223	0.191	1.209	-0.049	33.363	3
3/4 LC + 1/4 EF	482239	0.764	0.039	0.379	2.486	0.018	-29.017	3
3/4 LC + 1/4 EF	490001	0.272	-0.366	0.461	1.833	-0.072	32.287	3
1/2 LC + 1/2 AW	513229	0.411	-0.848	0.327	2.345	-0.008	27.861	3
3/4 EF + 1/4 LC	513319	0.190	0.356	0.181	0.852	0.253	-21.651	3
3/4 AW + 1/4 EF	523632	0.096	1.650	0.306	-0.330	-0.059	-64.207	3
3/4 AW + 1/4 EF	523636	0.175	-0.049	0.189	0.942	0.088	-46.987	3
3/4 EF + 1/4 LC	523668	0.573	-1.597	0.212	2.273	-0.158	-24.974	3
1/2 EF + 1/2 LC	523735	0.385	-1.378	-0.330	1.809	0.336	50.139	3
3/4 EF + 1/4 LC	523742	0.288	-1.284	0.109	1.119	-0.019	-50.765	3
1/2 LC + 1/2 AW	523825	0.177	-1.042	-0.034	1.342	-0.037	-90.141	3
1/2 EF + 1/2 LC	249	-0.263	-1.005	-0.121	0.613	0.164	-56.710	2
1/2 EF + 1/2 LC	1128	0.187	-0.957	0.009	1.113	0.013	86.309	2
3/4 AW + 1/4 EF	278894	0.368	-0.021	0.132	1.210	-0.223	49.342	2
1/2 LC + 1/2 AW	482068	-0.097	-1.011	-0.185	0.422	0.187	-45.794	2
1/2 EF + 1/2 LC	482367	0.101	3.152	0.169	0.314	-0.076	-22.234	2
3/4 LC + 1/4 EF	513203	0.547	-0.042	0.149	1.340	-0.049	125.209	2
1/2 LC + 1/2 AW	513223	0.639	2.789	0.056	-0.209	0.016	-21.580	2
3/4 LC + 1/4 EF	513255	-0.164	0.034	0.103	0.469	0.098	-47.509	2
3/4 EF + 1/4 LC	513283	-0.344	-0.597	-0.068	-0.786	0.147	-59.418	2
1/2 LC + 1/2 AW	513324	-0.001	2.448	0.169	-1.886	-0.032	-38.821	2
1/2 EF + 1/2 LC	513331	0.203	-2.059	-0.072	2.209	0.053	-24.812	2
3/4 AW + 1/4 EF	513333	0.436	0.048	-0.009	0.400	0.004	-97.590	2
3/4 LC + 1/4 EF	513338	0.090	-1.010	0.262	0.854	0.115	-30.563	2
3/4 EF + 1/4 LC	513366	0.322	-1.832	0.035	1.881	0.086	37.318	2
1/2 EF + 1/2 LC	523617	-0.116	2.099	0.192	-1.498	-0.107	22.423	2
3/4 LC + 1/4 EF	523625	0.120	0.012	0.197	0.814	0.172	-6.309	2
3/4 LC + 1/4 EF	523631	0.344	-0.299	0.049	1.484	0.068	-20.442	2
3/4 AW + 1/4 EF	523637	0.240	-1.013	0.070	1.487	0.004	-17.154	2
3/4 AW + 1/4 EF	523649	0.295	-0.230	-0.292	1.281	-0.062	38.595	2

3/4 AW + 1/4 EF	523651	-0.702	-1.168	0.194	-1.038	0.259	127.979	2
3/4 EF + 1/4 LC	523652	0.119	-1.001	0.242	0.769	0.243	12.357	2
1/2 EF + 1/2 LC	523656	-0.219	-0.930	-0.091	0.438	0.163	-64.985	2
3/4 LC + 1/4 EF	523658	0.137	-0.433	0.216	0.603	0.064	-41.657	2
3/4 LC + 1/4 EF	523662	0.390	0.393	0.077	1.246	-0.153	-3.065	2
1/2 EF + 1/2 LC	523682	0.271	1.452	0.071	0.480	-0.247	-30.491	2
3/4 LC + 1/4 EF	523757	0.176	-0.089	0.280	0.408	-0.104	64.303	2
1/2 EF + 1/2 LC	523758	-0.488	-1.209	-0.013	-0.656	0.226	-67.789	2
1/2 LC + 1/2 AW	523792	0.230	0.716	0.318	0.333	-0.020	98.548	2
3/4 AW + 1/4 EF	523808	0.289	-0.323	0.026	1.532	-0.071	10.935	2
1/2 EF + 1/2 LC	523815	0.112	-1.377	-0.074	0.974	0.035	-47.571	2
3/4 AW + 1/4 EF	523828	0.074	-0.899	0.083	0.629	0.145	-113.052	2
1/2 EF + 1/2 LC	523830	0.002	-1.216	0.021	1.282	0.107	-31.751	2
3/4 AW + 1/4 EF	523835	0.265	-0.613	0.164	1.091	-0.106	19.228	2
3/4 AW + 1/4 EF	523837	-0.199	2.084	0.051	-1.748	0.099	-22.805	2
3/4 LC + 1/4 EF	523839	0.200	-0.348	-0.063	0.906	-0.012	-76.649	2
3/4 AW + 1/4 EF	1126	0.037	-0.280	-0.131	0.040	0.151	18.568	1
1/2 EF + 1/2 LC	1127	0.139	-0.902	-0.114	1.209	-0.106	-40.464	1
3/4 EF + 1/4 LC	1265	-0.129	0.116	0.173	0.406	-0.075	8.489	1
1/2 LC + 1/2 AW	1632	-0.099	1.927	0.133	-0.399	-0.062	-32.179	1
1/2 EF + 1/2 LC	2162	-0.196	2.374	-0.028	-2.958	-0.080	-8.806	1
1/2 LC + 1/2 AW	2347	0.151	-0.149	0.305	0.743	-0.011	151.584	1
1/2 EF + 1/2 LC	460777	-0.125	2.605	0.096	-0.977	0.058	-22.234	1
1/2 LC + 1/2 AW	460894	0.047	-0.556	-0.150	-0.274	0.091	228.014	1
1/2 LC + 1/2 AW	462690	-0.517	-0.643	-0.104	-0.608	0.123	-22.864	1
3/4 EF + 1/4 LC	462750	-0.001	-1.146	-0.037	0.255	0.079	-67.289	1
3/4 LC + 1/4 EF	476426	0.029	-0.808	0.119	0.847	0.241	11.287	1
3/4 LC + 1/4 EF	476457	-0.534	-0.528	-0.321	-1.414	0.028	-44.992	1
3/4 EF + 1/4 LC	476484	-0.526	1.551	-0.760	-2.478	0.018	-8.374	1
3/4 EF + 1/4 LC	476492	0.084	-1.211	-0.163	0.310	-0.036	-65.528	1
3/4 EF + 1/4 LC	482065	-0.371	0.227	-0.048	-0.970	0.373	-28.060	1
1/2 LC + 1/2 AW	482138	-0.042	0.704	0.138	-0.274	-0.023	-63.228	1
3/4 LC + 1/4 EF	482338	-0.054	0.316	0.153	0.093	0.091	-2.652	1
3/4 LC + 1/4 EF	482366	-0.473	-0.157	-0.086	-1.939	0.001	-68.047	1
3/4 AW + 1/4 EF	490003	0.147	2.075	0.019	0.136	-0.042	-15.507	1
1/2 EF + 1/2 LC	513214	-0.107	1.915	0.091	-4.322	-0.080	-5.720	1
3/4 LC + 1/4 EF	513245	-0.053	2.517	0.129	-0.796	-0.022	-20.737	1
3/4 EF + 1/4 LC	513252	-0.094	2.273	0.074	-0.381	-0.107	-24.576	1
3/4 EF + 1/4 LC	513265	-0.272	1.990	0.000	-2.431	-0.105	41.622	1
3/4 EF + 1/4 LC	513271	-0.480	-1.542	-0.367	-0.699	0.120	-41.567	1
3/4 AW + 1/4 EF	513315	0.061	1.830	0.102	-0.631	-0.104	-17.681	1
3/4 EF + 1/4 LC	513350	0.088	1.231	0.083	-0.623	-0.027	-2.973	1
1/2 EF + 1/2 LC	513371	-0.126	1.567	0.113	-0.526	-0.091	-6.537	1

3/4 LC + 1/4 EF	513386	-0.317	2.540	-0.094	-3.541	-0.100	85.733	1
1/2 LC + 1/2 AW	513407	-0.291	1.936	-0.212	-1.685	-0.103	6.544	1
1/2 EF + 1/2 LC	513431	-0.058	2.294	0.036	-0.877	-0.103	-3.993	1
3/4 LC + 1/4 EF	513468	-0.208	-1.557	-0.191	-0.523	0.132	-17.415	1
3/4 LC + 1/4 EF	513497	-0.257	-1.065	0.083	0.198	-0.023	-85.691	1
3/4 LC + 1/4 EF	513591	0.079	-0.361	0.323	0.744	0.002	31.641	1
3/4 EF + 1/4 LC	523639	-0.029	-1.305	-0.055	-0.356	0.032	-66.305	1
3/4 EF + 1/4 LC	523644	-0.283	0.256	-0.039	-0.997	0.110	-31.521	1
1/2 LC + 1/2 AW	523645	-0.023	-1.367	-0.207	1.069	0.065	39.610	1
3/4 EF + 1/4 LC	523647	0.071	0.035	0.181	0.038	-0.006	7.990	1
3/4 LC + 1/4 EF	523653	0.075	0.397	-0.027	0.932	0.048	-61.680	1
3/4 EF + 1/4 LC	523657	0.003	-0.744	-0.080	-0.295	0.106	52.964	1
3/4 AW + 1/4 EF	523686	-0.175	3.436	-0.715	-3.168	-0.032	107.408	1
3/4 LC + 1/4 EF	523688	-0.017	2.776	-0.013	-1.709	-0.079	46.959	1
3/4 LC + 1/4 EF	523715	-0.357	1.621	0.009	-1.554	0.043	-9.305	1
3/4 LC + 1/4 EF	523737	0.019	2.801	-0.010	-0.525	-0.106	-29.612	1
1/2 LC + 1/2 AW	523744	0.024	-0.054	0.133	0.425	0.086	-128.078	1
1/2 LC + 1/2 AW	523777	-0.211	-0.003	0.198	-0.632	-0.056	-8.924	1
1/2 EF + 1/2 LC	523794	-0.021	2.531	0.033	-1.330	-0.064	79.602	1
3/4 LC + 1/4 EF	523822	-0.258	-1.456	0.228	-0.034	-0.007	-27.858	1
3/4 AW + 1/4 EF	523823	0.048	-0.952	-0.005	1.035	0.044	-16.599	1
3/4 AW + 1/4 EF	523826	-0.019	-1.498	0.209	0.865	0.001	-23.624	1
3/4 EF + 1/4 LC	523842	0.028	-1.292	0.065	0.850	-0.207	-63.440	1
1/2 EF + 1/2 LC	523847	-0.174	1.162	0.108	-0.413	-0.007	59.117	1
3/4 EF + 1/4 LC	523940	0.010	-1.852	0.067	0.946	0.037	-22.366	1
1/2 EF + 1/2 LC	523943	-0.117	5.533	-0.350	-0.581	-0.124	-25.658	1
1/2 EF + 1/2 LC	523945	-0.089	-0.637	0.059	-1.264	-0.097	-56.314	1
3/4 EF + 1/4 LC	528544	-0.070	-0.656		-0.145	0.124	55.147	1
1/2 EF + 1/2 LC	1129	-0.015	-0.646	-0.069	0.198	-0.007	70.982	0
1/2 EF + 1/2 LC	1130	-0.001	-0.763	0.041	0.591	0.061	-33.160	0
3/4 LC + 1/4 EF	1131	0.054	0.058	0.011	-0.380	-0.155	51.465	0
1/2 LC + 1/2 AW	1133	-0.136	-0.433	-0.368	-0.688	-0.110	90.217	0
3/4 EF + 1/4 LC	278914	-0.009	0.101	-0.011	-0.220	-0.082	-0.299	0
1/2 EF + 1/2 LC	434219	-0.253	-0.878	-0.542	-0.936	0.078	78.846	0
1/2 EF + 1/2 LC	460867	0.078	-0.706	-0.266	0.212	-0.138	-2.297	0
3/4 LC + 1/4 EF	462710	-0.132	0.011	0.147	-0.043	-0.010	11.792	0
3/4 LC + 1/4 EF	476413	0.161	-0.367	-0.092	0.504	-0.130	-25.530	0
3/4 AW + 1/4 EF	476422	-0.232	-0.991	-0.341	-0.660	-0.001	-36.066	0
1/2 EF + 1/2 LC	476439	0.019	-1.123	-0.250	0.376	-0.046	131.894	0
3/4 LC + 1/4 EF	481995	-0.107	0.154	-0.057	-2.938	-0.087	19.894	0
1/2 EF + 1/2 LC	482031	0.034	-0.785	-0.274	0.419	-0.009	45.056	0
1/2 LC + 1/2 AW	482053	0.060	-0.340	-0.162	0.018	-0.129	-33.198	0
1/2 LC + 1/2 AW	482075	-0.001	-0.497	-0.128	-0.216	0.032	-35.680	0

1/2 LC + 1/2 AW	482079	-0.272	-1.087	-0.498	-0.764	0.063	6.215	0
3/4 AW + 1/4 EF	482110	0.139	-0.623	0.006	0.698	-0.120	174.383	0
3/4 LC + 1/4 EF	482135	0.055	0.270	0.157	0.077	-0.106	12.625	0
1/2 EF + 1/2 LC	482221	0.012	-0.263	-0.041	0.227	-0.047	-40.866	0
3/4 AW + 1/4 EF	482345	0.146	-0.241	0.131	0.726	-0.033	-24.610	0
3/4 AW + 1/4 EF	513210	-0.112	-2.073	-0.694	-0.173	-0.042	80.796	0
1/2 LC + 1/2 AW	513228	0.024	-1.065	-0.149	0.509	-0.098	12.078	0
3/4 EF + 1/4 LC	513238	0.065	-1.158	-0.092	0.350	0.015	3.108	0
3/4 AW + 1/4 EF	513257	-0.089	0.861	0.088	-2.355	-0.087	-21.520	0
3/4 LC + 1/4 EF	513267	0.114	-0.817	-0.244	-0.118	-0.104	147.296	0
1/2 EF + 1/2 LC	513332	-0.206	-0.761	0.049	-0.075	0.083	18.056	0
3/4 AW + 1/4 EF	513334	-0.062	-0.410	-0.067	0.244	-0.051	65.968	0
3/4 EF + 1/4 LC	513353	-0.414	0.964	0.122	-2.837	0.062	-18.530	0
1/2 LC + 1/2 AW	513408	-0.124	-1.443	-0.064	0.053	0.062	3.445	0
3/4 LC + 1/4 EF	513410	-0.425	-0.068	0.092	-1.274	-0.051	-12.331	0
1/2 LC + 1/2 AW	513466	0.173	-0.193	-0.471	0.541	0.055	-14.319	0
3/4 AW + 1/4 EF	513560	-0.034	0.707	0.164	-0.471	-0.055	47.530	0
1/2 EF + 1/2 LC	523646	-0.147	-0.947	-0.085	0.527	-0.051	12.183	0
3/4 EF + 1/4 LC	523695	-0.271	-1.196	-0.030	-0.958	-0.088	12.677	0
3/4 EF + 1/4 LC	523733	0.037	-0.357	-0.065	0.020	-0.142	-23.870	0
3/4 LC + 1/4 EF	523821	-0.072	-0.188	0.059	-0.321	-0.015	68.888	0
3/4 EF + 1/4 LC	523829	-0.068	-0.439	0.052	0.123	-0.042	-22.231	0
3/4 LC + 1/4 EF	523852	-0.269	-0.230	0.150	-0.543	0.020	-17.154	0
3/4 EF + 1/4 LC	523861	-0.158	-0.306	-0.045	-0.327	-0.109	6.224	0
1/2 LC + 1/2 AW	523868	0.135	-0.442	-0.214	0.779	-0.081	115.506	0
3/4 EF + 1/4 LC	523869	-0.242	0.397	-0.240	-1.065	-0.042	-5.395	0
3/4 EF + 1/4 LC	528308	-0.050	-1.431		-0.559	-0.168	75.350	0

Relación de los grupos genéticos con altos índices productivos.

En el cuadro 6, se puede observar que de acuerdo al grupo genético, se encontró en el 1er cuartil una considerable cantidad de aquellas ovejas híbridas (retrocruza) que estaban conformadas por ¾ Lacaune + ¼ East Friesian y en segundo término las ovejas F1 ½ East Friesian + ½ Lacaune. Quizá el cruzamiento con la raza Lacaune podría estar mostrando buena interacción de genes con la raza East Friesian, indicando que este puede ser un camino exitoso y dónde podrían dirigirse los cruzamientos. Estos resultados habría que dar seguimiento en subsiguientes ciclos productivos para validar aquellos cruces que mejor interacción entre razas y se adapten con mayor eficiencia a las condiciones propias de la unidad de producción.

Cuadro 6. Resumen por cuartiles y grupo genético en ovejas híbridas Awassi, East Friesian y Lacaune en el Rancho San Francisco, municipio de Colón, Estado de Querétaro.

#GG	Grupo genético	1er Cuartil	2do Cuartil	3er Cuartil	4to Cuartil	Total
1	½ EF + ½ LC	**8 / 21.6**	**9 / 24.3**	8 / 21.6	7 / 18.4	32
2	½ LC + ½ AW	**6 / 16.2**	**6 / 16.2**	5 / 13.5	7 / 18.4	24
3	¾ EF + ¼ LC	7 / 18.9	7 / 18.9	10 / 27.0	9 / 23.6	33
4	¾ AW + ¼ EF	7 / 18.9	6 / 16.2	4 / 10.8	7 / 18.4	24
5	¾ LC + ¼ EF	**9 / 24.3**	**9 / 24.3**	10 / 27.0	8 / 21.0	36
	Total ovejas	37 / 100%	37 / 100%	37 / 100%	38 / 100%	149

10. DISCUSIÓN

En el presente estudio, se realizan estimaciones de los valores para los caracteres de producción de leche, porcentajes de grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y CCS en 149 ovejas híbridas Awassi, East Friesian y Lacaune, en sus diferentes grupos genéticos, durante una lactancia promedio de 180 días. En el cuadro 7, se pueden comparar resultados de los valores del rendimiento y componentes de la leche en diferentes estudios de diferentes países en el mundo, encontrando valores semejantes y a su vez diferentes dependiendo de la raza o línea genética y regiones o países.

El cuadro 7 muestra en color verde los valores de otros autores que se encuentran por encima de los valores encontrados en nuestro estudio, así como en rojo aquellos valores que se encuentran a su vez por debajo. Asimismo, también de aquellos valores que se encuentran resaltados en negritas son de estudios que emplearon para su análisis el modelo mixto.

Cuadro 7. Resumen de los datos obtenidos de los componentes de la leche en ovejas.

Autor (es)	Lugar	Sistema de producción	Raza	Producción de leche kg/d	% Grasa	% Proteína	% Lactosa	% Sólidos totales	CCS X 10^3
Valle (2025)	**Querétaro, México.**	**Semi-intensivo.**	**Lacaune, Awassi y East Friesian.**	**0.54**	**7.96**	**5.79**	**6.85**	**19.64**	**333.3**
Baro et al. (1994)	España.	Diferentes rebaños.	Churra española.			6.20			360
Gonzálo et al. (1994).	**Castilla y León, España.**	**Diferentes rebaños.**	**Churra española.**	0.91	6.76	6.28			1501
Cappio-Borlino et al. (1997)	Valle del Belice, Italia.	Diferentes rebaños.	Ovejas de Valle del Belice.		7.17	5.39			
El-Saied et al. (1998)	Palencia, España.	Diferentes rebaños.	Churra española.	0.76		5.54			746
Nudda et al. (2002)	**Norte de Cerdeña, Italia y Australia.**	**Diferentes rebaños**	**Awassi y Merino**		7.48	5.58	4.79		
Rupp et al. (2009)	Roquefort, Francia.	Semi-intensivo	Lacaune.						374
Castillo et al. (2016)	Palma de Mallorca,	Semi-extensivo	Roja Mallorqui	0.58	6.01	6.38	4.85	18.12	<200

	España.		na.						
Longo et al. (2016)	Mato Grosso del Sur, Brasil.	Semi-intensivo.	Pantaneiras nativas.	1.03	4.12	4.40	4.84	14.41	
Nava et al. (2019)	Guerrero, México.	Semi-estabulación	Ovejas Criollas		2.49	5.73	4.59	13.66	
Stazionati et al. (2019).	**La Pampa, Argentina.**	**Semi-intensivo.**	**Pampinta.**	0.91	6.6	6.1			1501
Recio (2023)	Barcelona, España.	Semi-intensivo	F1 Lacaune y F1 Manchega	0.90	6.92	5.95	4.53		739

10.1 Producción de leche

Como se puede observar en el cuadro 4, se obtuvo el valor de la producción de leche de 0.54 ± 0.33 kg/d/oveja en 629 muestras de 149 ovejas híbridas, bajo un sistema de producción semintensiva. Similares resultados fueron observados por Castillo et al. (2016) en ovejas de raza Roja Mallorquina en España (0.58 kg/d) bajo un sistema de producción semiextensiva dedicada a la elaboración de quesos artesanales de calidad, y marginalmente por debajo de El-Saied et al. (1998) en ovejas Churras en 10 unidades de producción comercial en España (país que tiene una tradición de producción de leche), que son dos estudios con razas de perfil lechero bajo condiciones semejantes de manejo con respecto a nuestro estudio.

Sin embargo, el rendimiento de leche en el presente trabajo se encontró el valor por debajo de lo obtenido por Stazionati et al. (2019) en La Pampa, Argentina con 425 ovejas lecheras de la raza Pampinta con un estudio hecho con 833 lactancias (en 9 años), mostrando una producción media de leche de 1.0 kg/d/oveja. Así mismo el estudio de Gonzalo et al. (1994) con 3202 ovejas de 22 rebaños lecheros de la raza Churra en la región de Castilla y León en España, obtuvieron una producción promedio de leche de 0.91 kg/d/oveja. También resultados con mayor producción fueron encontrados en Barcelona por Recio (2023), donde ovejas de raza Manchega y Lacaune, obtuvieron una producción de 0.90 kg/d/oveja. Estos resultados son marcadamente superiores a los encontrados en el presente estudio, quizá derivado a la tecnificación y experiencia en países europeos sobre la producción de leche, contando con un mayor control productivo, apoyado de programas de mejoramiento genético de razas especializadas en producción de leche con varios años (e incluso décadas), con mejores sistemas de alimentación específico para ovejas lecheras y que todo ello va con destino a la elaboración de quesos de calidad (muchos ellos “denominación de origen”), alimento esencial en la comida mediterránea.

10.2 Grasa

En el presente estudio se obtuvo un promedio de 7.96% ± 2.04 en 712 muestras de 149 ovejas (cuadro 4). Resultados similares encontrados fueron observados por Nudda et al. (2002) empleando 15 lactaciones de la raza Awassi en el Norte de Cerdeña, Italia encontrando un 7.48%. También Cappio-Borlino et al. (1997) en Italia utilizando tres rebaños, estudiaron a 244 ovejas de la raza "Ovejas de Valle del Belice", encontraron 7.17%. La semejanza con el presente estudio puede relacionarse dado que ambos estudios se emplearon ovejas con perfil lechero, aunque es a destacar que el primer estudio fue en un sistema de producción en pastoreo intensivo (potreros) y con un ordeño manual.

Otros resultados que se mantienen marginalmente por debajo del valor encontrado en nuestro estudio, fue por Recio (2023) en Barcelona, España, estudiando a la raza de ovejas Lacaune y Manchega bajo un sistema de producción semi-intensivo, encontraron 6.92%. También Gonzálo et al. (1994) en Castilla y León, España, en la raza Churra observaron el 6.76%. Castillo et al. (2016) observaron en la raza Roja Mallorquina en Palma de Mallorca, España, en un sistema semi-extensivo encontraron 6.01%, y Stazionati et al. (2019) en La Pampa Argentina, en la raza Pampinta en un sistema semi-intensivo observaron un 6.6%. Se ha estudiado que la producción de la leche se ve íntimamente relacionada con la composición de la leche (Suarez y Busetti, 1999), existiendo una relación inversa entre la producción de leche y porcentaje de grasa en ovejas, donde a mayor volumen producido de leche, como lo es en países altamente productores de leche ovina, suele contener menor porcentaje de grasa (Merchant et al., 2021).

Por otro lado, Longo et al. (2016) en Mato Grosso del Sur, Brasil, bajo un sistema semi-intensivo y trabajando con 50 ovejas Pantaneiras que es una raza nativa de la región, encontraron un 4.12% de grasa; mientras que en Guerrero, México, los resultados de Nava et al. (2019) con ovejas criollas en un sistema de semi-estabulación se observó un menor rendimiento de grasa (2.49%). Este bajo valor en grasa, quizá pueda deberse a que los ovinos criollos almacenan mayor cantidad de grasa peri-renal en comparación con otras razas, lo cual parece ser una reserva energética para hacer uso de ella en momentos de escasez de alimento y favorecer la supervivencia en épocas de estiaje severo (Solís et al., 2015).

10.3 Proteína

Como se puede observar en el cuadro 4, se observó para el porcentaje de proteína de 5.79% en ovejas híbridas Awassi, East Friesian y Lacaune. Estos resultados son similares al valor encontrado fue por Stazionati et al. (2019) en La Pampa, Argentina con ovejas lecheras de la raza Pampinta, mostrando 6.1% proteína en un sistema semi-intensivo. Así mismo, en un estudio realizado en España por Recio (2023), donde utilizaron 112 ovejas de raza Manchega y Lacaune de ubres sanas (sin síntomas de mastitis clínica), obtuvo un valor de 5.95% bajo un sistema semi-intensivo y en Guerrero, México, empleando ovejas criollas en un sistema de semi-estabulación, obtuvo 5.73% (Nava et al., 2019).

También otros estudios obtuvieron resultados muy semejantes a nuestro trabajo. Baro et al. (1994) en España con 11,231 ovejas de la raza Churra española en 52 rebaños (120 días de lactancia en promedio), el porcentaje de proteína obtenido fue de 6.2%. Asimismo, Gonzálo et al. (1994) en España en un trabajo con ovejas de la raza Churra española, observaron 6.2%, mientras que Castillo et al. (2016) en Palma de Mallorca, España, con las ovejas de la raza Roja Mallorquina reportaron un 6.38%. Puede considerarse que por semejanzas tanto en el efecto racial (genético) y sistemas de producción (factor ambiental) tuvo una implicación importante en los valores encontrados con respecto a nuestro estudio.

También se han encontrado valores por debajo del realizado en nuestro estudio. Nudda et al. (2002) en la raza Awassi y Merino en el norte de Cerdeña, Italia obtuvieron 5.58%. También Cappio-Borlino et al. (1997) en 244 ovejas de la raza "Ovejas de Valle del Belíce" en Italia observaron 5.39% de proteína, mientras que El-Saied et al. (1998) en Palencia, España en ovejas de la raza Churra española en 10 unidades de producción, observaron un 5.54%. Un resultado marcadamente por debajo al encontrado en el trabajo actual fue el de Longo et al. (2016) en Mato Grosso del Sur, Brasil, trabajando con 50 ovejas de la raza Pantaneira de un solo parto y fueron ordeñadas durante 90 días, observaron 4.40%. Como ha sido citado anteriormente, la producción de la leche se ve íntimamente relacionada con su composición (Suarez y Busetti, 1999), existiendo una relación inversa entre la producción de leche y el contenido de sólidos totales lo que incluye la proteína, donde en diversos estudios se ha encontrado que a mayor volumen producido de leche, como lo es en países altamente productores de leche ovina, suele contener menor porcentaje de proteína (Merchant et al., 2021).

10.4 Lactosa

Se encontró en el presente estudio un promedio de 6.85% de lactosa, siendo un valor alto al contrastarse con diferentes estudios; por ejemplo Nudda et al., (2002) observaron en el norte de Cerdeña, Italia con ovejas de la raza Awassi que obtuvieron 4.79%, y Castillo et al. (2016) con la raza Roja Mallorquina en Palma de Mallorca España en un sistema semi-extensivo en 3 diferentes rebaños obtuvieron 4.85%. También fue más alto con respeto a Nava et al. (2019) empleando 22 ovejas criollas de la montaña de Guerrero, México, que encontraron 4.59%. Recio (2023) en Barcelona, España, con 112 ovejas de la raza Lacaune y Manchega bajo un sistema de producción semi-intensivo observando 4.53%, y finalmente Longo et al. (2016) con la raza Pantaneira nativa de Brasil empleando 50 ovejas encontraron 4.48%. Los anteriores estudios fueron realizados con razas puras, quizá la diferencia con respecto a nuestro estudio sea debida al efecto de heterosis o vigor híbrido de las ovejas estudiadas en el presente trabajo. Será importante realizar subsiguientes estudios para validar los valores encontrados relacionándolo con el rendimiento productivo, efecto de la alimentación, entre otros factores.

10.5 Sólidos totales

En el cuadro 4, se obtuvo el valor de 19.64% de sólidos totales, siendo un valor similar al observado por Castillo et al. (2016) con la raza Roja Mallorquina en Palma de Mallorca España dedicada a la elaboración de quesos artesanales de calidad obtuvieron el valor de 18.12 %. Longo et al. (2016) con 50 ovejas de la raza Pantaneira nativa de Brasil observaron valores inferiores (14.41%), así como Nava et al. (2019) observaron en ovejas criollas multíparas con un segundo parto, bajo un sistema de semi-estabulación y ordeñadas manualmente en la montaña de Guerrero, México, encontraron 13.66%, esto puede deberse a diferentes factores como la alimentación, el estado nutricional, etapa de la lactancia y al manejo del ordeño (Chay et al., 2019).

10.6 Conteo de Células Somáticas (CCS x 10^3)

El rebaño en estudio puede considerarse que tiene un adecuado estado de salud (sanidad mamaria), encontrando un CCS promedio de 333.37 x 10^3 células/mL. Estudios similares fueron los elaborados por Baro et al. (1994) en España con 11,231 ovejas de la raza Churra española en 523 rebaños con un periodo de lactancia de 120 días, obteniendo un valor de 360 x 10^3 células/mL; y Rupp et al. (2009) en la región de Roquefort, Francia en un estudio con un rebaño de 500 ovejas de la raza Lacaune y un sistema semi-intensivo, obtuvieron 374 x 10^3 células/mL. Resultados que se encontraron marginalmente por encima fueron los de El-Saied et al. (1998) en Palencia, España 10 unidades de producción diferentes de la raza de oveja Churra española donde obtuvieron un valor de 746 x 10^3 células/mL. También Recio (2023) en Barcelona, España en 112 ovejas de la raza Lacaune y Manchega en sistemas de producción semi-intensivo observó resultados de 739 x 10^3 Células/mL.

Un resultado que se encontró por debajo de nuestro estudio fue el realizado por Castillo et al. (2016) en la Palma de Mallorca, España en ovejas de raza Roja Mallorquina en un sistema semi-extensivo dedicado a la elaboración de quesos artesanales el cual fue menor a 200 x 10^3 células/mL. Todos los anteriores estudios (incluyendo el presente estudio) se observaron valores dentro del umbral a considerar con buenos estándares sanitarios y control de mastitis subclínicas, debido a que Ariznabarreta (1999), indica que la presencia de valores ≥ 1,000 x 10^3, las ovejas estarán presentando mastitis subclínica.

Algunos resultados que se encuentraron marcadamente elevados fueron los observados por Gonzálo et al. (1994) en Castilla y León, España donde utilizaron 3202 ovejas de la raza Churra española en 22 diferentes rebaños, observaron 1,501 x 10^3 células/mL. También Stazionatti et al. (2019) en la Pampa, Argentina, trabajando con la raza Pampinta en un sistema de producción semi-intensivo obtuvieron 1,501 x 10^3 células/mL. Quizá el efecto de la intensificación de los

procesos productivos y condiciones de bienestar (sanidad animal), puedan favorecer problemas de productividad relacionada directamente con la presencia de mastitis.

10.7 Método de selección.

Es fundamental utilizar el modelo estadístico adecuado para obtener estimaciones precisas y confiables al realizar un programa de selección dentro de una unidad de producción ovina y cómo afecta la producción y calidad de leche en estos animales. La utilización de modelos estadísticos avanzados, como es el modelo mixto (MM), ha revolucionado la forma en que analizamos datos genéticos, especialmente cuando carecemos de información genealógica (Muller y Cueto, 2010), como fue aplicado en el presente estudio. Una de las numerosas ventajas del MM es su capacidad para incluir datos con estructura compleja, como datos ambientales o con relaciones genéticas entre individuos. Esto es primordial en estudios de selección animal, ya que nos permite identificar a los mejores candidatos para la reproducción, maximizando la ganancia genética en futuras generaciones.

10.7.1 El mejor predictor lineal insesgado (BLUP)

Como se ha comentado, el método BLUP es una técnica específica basada en modelos lineales mixtos, diseñada precisamente para la predicción de los valores genéticos de los reproductores. Su principal fortaleza radica en su capacidad para estimar con alta precisión los valores genéticos de los animales, incluso en presencia de datos incompletos o desbalanceados, lo cual es común en programas de mejora genética (Falconer y Mackay, 2001). La utilización del BLUP en ovejas lecheras permite identificar a los animales con mayor potencial genético para la producción de leche, facilitando decisiones de selección más informadas y efectivas. Aunque el BLUP es muy potente, requiere de información genética y de un pedigree confiable, además de una correcta especificación del modelo. El modelo mixto, por su parte, ofrece mayor flexibilidad para explorar diferentes estructuras de datos y efectos, lo que puede ser ventajoso en estudios exploratorios o en poblaciones con datos menos estructurados (Nicholas, 1996) como lo fue en el presente escenario de estudio por la disponibilidad de los datos. En este estudio que se empleó el modelo mixto, tuvo la particularidad de aplicarlo sin la existencia de la genealogía, obteniendo resultados quizá no con la debida precisión del VG, como lo que se podría obtener mayor confiabilidad aplicando la metodología BLUP.

10.7.2 Mejor predicción lineal insesgada del valor genético: modelos multivariados (MBLUP).

Según un estudio realizado por Macedo et al. (2020), el modelo univariado de BLUP ha sido ampliamente utilizado en la evaluación genética de ovejas lecheras, demostrando ser efectivo en la estimación de VG para la producción de leche. El modelo univariado de BLUP es útil cuando se dispone de una sola medición por lactancia y se busca estimar el valor genético aditivo de los animales. Por otro lado, el modelo lineal mixto es más adecuado para analizar múltiples características simultáneamente y manejar datos complejos, como mediciones repetidas a lo largo

de la lactancia (Sorensen y Gianola, 2002), como fue el escenario de nuestro estudio. Esta metodología puede ser aplicada a mediano y largo plazo en nuestro país, una vez que se disponga de la genealogía que involucre no solo a una unidad de producción, si no aquellos reproductores que se encuentren conectados (principalmente en programas de inseminación artificial) y que son evaluados en diferentes rebaños.

10.7.3 Mejor predicción lineal insesgada del valor genético: modelos univariados con un efecto aleatorio.

Se aplica cuando se dispone de una sola medición por lactancia, como la producción total de leche (aunque en nuestro estudio fue kg de leche/día/oveja), escenario similar con la diferencia de aplicar el modelo mixto. Este modelo considera los efectos fijos (como el grupo contemporáneo y la edad), mientras que en nuestro estudio fueron el grupo racial, el número de lactancia, el tipo de parto y el sexo de la cría(s) y un único efecto aleatorio (como el valor genético aditivo del animal) que en nuestro modelo mixto fue el factor "oveja", todo ello para estimar el valor genético (VG) de cada animal, permitiendo obtener el índice de selección (cuadro 5).

Según un estudio realizado por Quispe et al. (2009), este enfoque ha sido utilizado en la evaluación genética de alpacas, demostrando ser efectivo en la estimación de VG para características productivas. Ambos modelos (BLUP y modelo mixto) tienen aplicaciones valiosas en la genética de ovinos lecheros. Por otro lado, también el modelo lineal mixto es más adecuado para analizar múltiples características simultáneamente y manejar datos complejos, como mediciones repetidas a lo largo de la lactancia (Sorensen y Gianola, 2002), planteamiento que a mediano plazo podría ser empleado en México.

10.7.4 Modelo genético para caracteres cuantitativos

El modelo genético para caracteres cuantitativos es una herramienta fundamental en genética animal que nos ayuda a entender cómo los genes influyen en características que varían en una población, como la producción de leche en ovejas o el peso de los animales. En términos sencillos, este modelo describe cómo diferentes factores genéticos y ambientales contribuyen a la variación observada en un carácter cuantitativo. Es una representación matemática que describe cómo los genes y el ambiente influyen en características medibles, facilitando así la toma de decisiones en la mejora genética de poblaciones. El modelo genético para caracteres cuantitativos proporciona la base teórica para entender cómo los genes influyen en una característica, mientras que el modelo lineal mixto es una herramienta práctica que usando esa teoría, analiza datos reales de ovejas lecheras para estimar qué animales tienen mayor potencial genético. Ambos están estrechamente relacionados y se complementan en los programas de mejoramiento genético (Bourdon, 1997), como el que se aplicó en el modelo mixto utilizado en este estudio.

10.7.5 Valores Mejorantes Estimados (EBV)

La EBV son predicciones del valor genético de un animal para un rasgo específico, basadas en datos fenotípicos y en la información genética de sus progenies y familiares (Van Arendonk, 1985), por ello esta metodología fue limitada para aplicarse en el presente estudio, porque solo se contaba con la información propia de la oveja y no así de su descendencia y ancestros. La estimación de los VG permite identificar a los animales con mayor potencial para transmitir características deseables, facilitando decisiones de selección. Sin embargo, la estimación de los VG tradicionalmente se ha realizado mediante métodos estadísticos que no siempre consideran la estructura compleja de los datos, como la relación entre animales o la variabilidad ambiental (Lynch y Walsh, 1997). Así mismo, mientras que la estimación de los VG proporcionan una estimación puntual del potencial genético, su precisión puede verse limitada si no se consideran adecuadamente las relaciones genéticas y los efectos ambientales. El modelo mixto (MM), en cambio, permite un análisis más completo y ajustado, mejorando la precisión de las estimaciones y reduciendo los errores (sesgos) (Henderson, 1984). Por ejemplo, en estudios de producción láctea en ovejas, el uso del MM ha demostrado ser superior para estimar la capacidad de producción, especialmente en poblaciones con estructuras complejas o datos incompletos (Gianola, 2010), por ello su aplicación para el presente trabajo (falta de información sobre las relaciones genéticas).

10.7.7 Modelo de regresión aleatoria

Los modelos de regresión aleatoria (RR) son una extensión del MM, utilizados especialmente en evaluaciones longitudinales como la curva de lactancia. Estos modelos permiten modelar la evolución de la producción láctea a lo largo del tiempo, ajustando mejor la variabilidad genética y ambiental (Schaeffer, 2004). Aunque más precisos, requieren mayor cantidad de datos y complejidad computacional. En poblaciones ovinas pequeñas o con registros limitados, pueden ser menos viables que el MM por regresión aleatoria, que difícilmente es aplicable en México a corto y a mediano plazo.

10.7.8 Modelo Mixto

Como ha sido comentado ampliamente, el modelo mixto (MM) representa un equilibrio entre precisión, flexibilidad y viabilidad operativa en la evaluación genética de ovejas lecheras. Frente a la metodología BLUP univariado, ofrece una mayor capacidad de ajuste a estructuras de datos más complejas y permite incorporar múltiples fuentes de variación. Aunque los modelos de regresión aleatoria superan al MM en algunos aspectos, su mayor complejidad limita su aplicabilidad en sistemas con menor capacidad de registro o computación. Por lo tanto, el MM se posiciona como una herramienta robusta y recomendable para programas de mejora genética en ovinos lecheros, especialmente en sistemas de producción en crecimiento o transición hacia una mayor tecnificación (Falconer y Mackay, 2001).

11. CONCLUSIÓN

El Modelo Mixto representa una herramienta alternativa viable de análisis principalmente ante la falta de información genealógica de los individuos a estudio y ante las desventajas que presentan los modelos clásicos, que de aplicarse correctamente, potencializa significativamente los programas de mejoramiento genético, facilitando decisiones de selección más informadas y efectivas. El modelo lineal mixto es una herramienta práctica que analiza datos reales de ovejas lecheras para estimar qué animales tienen mayor potencial genético.

El modelo mixto representa un equilibrio entre precisión, flexibilidad y viabilidad operativa en la evaluación genética de ovejas lecheras. Se propone esta metodología gracias a su capacidad para separar efectos genéticos de ambientales y su flexibilidad para adaptarse a diferentes tipos de datos, esto lo convierte en un aliado imprescindible en la investigación y aplicación práctica. Su uso en investigaciones futuras en México seguramente seguirá aportando conocimientos importantes en este país.

REFERENCIAS

AESLA (Asociación Española de Criadores de Ovino de Raza Lacaune). 2020. Raza ovina Lacaune.

AMCO (Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos). (2007). Razas ovinas de lana: East Friesian. En línea: https://www.uno.org.mx/empezar/corderos.html Consultado: 3 de enero del 2025.

Albenzio, M., Figliola, L., Marino, R., Sevi, A. Santillo, A. 2019. Recuento de células somáticas en la leche de oveja. Investigación sobre pequeños rumiantes. Volumen 176. páginas 24-30.

Ángeles-Hernández, J.C., Pérez-Hernández, A.H., Malcher-Pérez-Rocha, J y González-Ronquillo, M. (2014). Producción orgánica de leche de oveja. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 17: 49 – 62.

Ángeles-Hernandez. J. C.; R. Vieyra, A.; Kebreab. E.; Jayasooriya. A. D.; Nirosha R. A.; Holland C. D.; Castelan-Ortega. O.; Gonzalez-Ronquillo, M. (2020). Effect of forage to concentrate ratio and fat supplementation on milk composition in dairy sheep: A meta-analysis, Livestock Science. (238). En línea: https://sciencedirect.bibliotecabuap.elogim.com/science/article/pii/S1871141319313253 c Consultado el 17 de febrero del 2025.

Arias, R. 2009. Recuento de células somáticas y calidad de la leche en Castilla-La Mancha. Tesis Doctoral, ETSIA, Universidad de Castilla-La Mancha, 211 pp.

Arias, R., Gallego, R., Altares, S., Garzón, A., Romero, J., Jiménez, L., Oliete, B., Arias, C., Caballero, J., Martínez, A., Núñez, N., García, A., Ramón, M., Montoro, V., Pérez-Guzmán, M. D. (2016). Calidad de la leche en ganaderías de ovino manchego. revisión. *Dialnet*, *65*(251), 469-473. https://doi.org/10.21071/az.v65i251.718 Consultado: 13 de marzo del 2025.

Ariznabarreta, A. 1999. El conteo celular como método indirecto de diagnóstico de mamitis subclínicas en el ganado ovino de raza Churra. Tesis Doctoral, Universidad de León, pp. 228.

Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra. 2003. Manual de Calificación Morfológica de Ganado Ovino de la Raza Churra. Mejora Genética Animal, Departamento de producción Animal. Universidad de León. España.

Banskalieva, V., Shindarska, Z., Dimov, V. 1989. Composición de ácidos grasos de varias grasas de depósito de corderos. Trigésimo quinto Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de la Carne. Dinamarca, vol. III, 1222-1229

Barillet, F., Marie, C., Jacquin, M., Lagriffoul, G. y Astruc, J. (2001). The French Lacaune dairy sheep breed: use in France and abroad in the last 40 years. Livestock Production Science, 71(1), 17–29. https://doi.org/10.1016/s0301-6226(01)00237-8 Consultado: 17 de diciembre del 2024.

Baro, J. A., Carriedo, J. A. y San Primitivo, F. 1994. Genetic Parameters of Test Day Measures for Somatic Cell Count, Milk Yield, and Protein Percentage of Milking Ewes. Universidad de León. Departamento de producción animal. León, España. pag 2658 - 2662

Bavera, G. A. 2005. Cursos de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC.

Bencini, R. y Purvis, I.MW. 1990. Rendimiento y composición de la leche de ovejas merinas. Sociedad Australiana de Producción Animal, 18.

Bencini, R., Hartmann, P. E., Lightfoot, R. J. 1992. Potencial lechero comparativo de Awassi x Merino ovejas. Actas de la Asociación Australiana de Cría y Genética Animal, 10: 114-117

Bruckmaier, R. M. P. G., Mayer, H., Schams, D. 1997. Machine milking of Ostfriesian and Lacaune dairy sheep: udder anatomy, milk ejection and milking characteristics. J Dairy Res 64:163-172.

Bourdon, R. M. 1997. Understanding Animal Breeding. 1st ed. Prentice-Hall, inc.

Bustamante, C. V. R., Álvarez, J. J. C., Triana, E. L. C., Ulloa, L. A. A., Ayola, S. C. P., Rodríguez, J. E. M., Vargas, L. I. M., Paternina, E. A. S., Martínez, C. C. H., Ortiz, J. R. Z., Díaz, E. P. (2023). Manual para la producción de ovinos en la región Caribe de Colombia. En *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) eBooks*.

Caja, G., Such, X., Rovai, M., Molina, M. P., Fernández, N., Torres, A., Gallego, L. 2002. Aptitud al ordeño mecánico y morfología mamaria en ovino lechero. XXVII Jornadas Científicas y VI Jornadas Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia (SEOC). Valencia, España, pp. 19-48.

Campbell, J.R. y Marshall, R.T. 1975. The Science of Providing Milk for Man. New York, USA: McGraw Hill Book Company, 801 pp

Canto, F. y Villa, M. 2019. Selección de borregas para reemplazo en ovinos de carnes. Instituto de investigaciones agropecuarias. INIA REMEHUE. Región de los Lagos, chile.

Cappio-Borlino, A., Portolano, B., Todaro, M., Macciotta, C. N., Giaccone, P., Pulina, G. (1997). Lactation Curves of Valle del Belice Dairy Ewes for Yields of Milk, Fat, and Protein Estimated with Test Day Models. Journal of Dairy Science. pag. 3023-3029

Castañeda, A. N. y Rodríguez, R. 2018. Problemas de genética: cuaderno de ejercicios. 1a edición. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Ciudad de México, pp. 351 – 354.

Castiella, M. P., Larráyoz, C. F. Ibáñez, P. A., Torre, O. I. 2004. Efecto de la disminución de la grasa de la leche de oveja sobre el contenido de colesterol en el queso. Grasas y Aceites.55 (2):pp:122-128.

Castillo, V., Tobaruela, M., Delgado, J. V., Ques, M. y Pons, A. 2016. Estudio preliminar de la producción láctea, composición de la leche y recuento de células somáticas en ovejas Roja Mallorquina. Instituto de Recerca y Formación Agraria y Pesquera. Palma de Mallorca, España

Chay, J. A., Narváez, R. I., Mezo, J., Ángeles, J. C., Herrera, J., García, R., González, M., Parra, G. M. y López, N. 2019. La producción de leche en ovejas de pelo la Utopía. Revista Mexicana de Agroecosistemas.

Damas, A. G. 2022. Modelos mixtos en la definición de una ecuación para estimar estructura corporal (FRAME) en bovinos para carne. Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de zootecnia y ecología, Chihuahua, México.

El-Saied, U. M., Carriedo, J. A. y San Primitivo, F. 1998. Heritability of Test Day Somatic Cell Counts and Its Relationship with Milk Yield and Protein Percentage in Dairy Ewes. Journal of Dairy Science. pag. 2956 - 2961

Epstein, H. 1982. Ovejas Awassi. Rev. Mundial de la Anim. 44:9-18.

Evangelista, R. 2025. Evaluación del rendimiento productivo y calidad de leche en ovejas híbridas de una unidad de producción comercial. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Estado de México, México.

Falconer, D. S., Trudy F. C., Mackay T. F. C. 1996. Introduction to quantitative genetics, 4°. edición. Addison Wesley Longman Limited Edinburgh Gate, Harlow, Essex CM20 2JE, England.

Falconer, D. S., y Mackay, T. F. C. 2001. Introducción a la genética cuantitativa. Editorial Acribia.

FAO. 2015. Leche en cifras. http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/273897/. Consultado: 22 de noviembre de 2024.

FAOSTAT (Datos sobre Alimentación y Agricultura). 2022. Cultivos y Productos de la Ganadería- Producción le Leche Entera. En línea: https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL Consultado; 17 de febrero del 2025.

FAOSTAT (Datos sobre Alimentación y Agricultura). 2024. Cultivos y Productos de la Ganadería- Producción le Leche Entera. En línea: https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL Consultado; 17 de febrero del 2025.

Fernández, G., Alvarez, F. P. San Primitivo y de la Fuente, L. F. 1995. Factors affecting variation of udder traits of dairy ewes. J. Dairy Sci., 78: 842-849.

Font, J. T. I. 2005. Aplicación del método BLUP a la evaluación y selección de reproductores porcinos. *Avances En Tecnología Porcina*, *2*(9), 35-56. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4997661 Consultado el 9 de febrero del 2025.

FUNDECO (Fundación por el Desarrollo Regional y la Competitividad). 2016. La Oveja lechera como instrumento de desarrollo, algunas ovejas. En línea: http://www.fundecoac.org.mx/#la-oveja consultado: 13 de diciembre del 2024.

Galal, S., O. Gürsoy, I. Shaat, 2008. Awassi sheep as a genetic resource and efforts for their genetic improvement—A review, Small Ruminant Research (79): pp:99-108.

Gallego, L., Caja, G., Torres, A. 1983. Estudio de la tipología y características morfológicas de s ubres de ovejas de raza Manchega durante la lactación. 3rd International Symposium on Machine Milking of Small Ruminants, Valladolid, p.100-116.

García, O. R. y Coll, L. 1976. Contribución al estudio de la grasa de leche de ovejas españolas. Bormatol., 30,345-360.

García, A. N., Rojero, R. D. M., Lagunas, Á. M. y Ulloa-Arvizu, R. 2019. Curva de rendimiento y composición de leche en ovejas criollas de la Montaña de Guerrero, México. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, *6*(17), 391–398.

Gianola, D. 2010. Statistical learning methods for genome‐based analysis of quantitative traits. Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. 173:1761-1776.

Gómez, S., V. Torres, García, Y. y Navarro, J. 2012. Procedimientos estadísticos más utilizados en el análisis de medidas repetidas en el tiempo en el sector agropecuario. Revista Cubana de Ciencias Agrícolas. Tomo 46, Número 1, 1-7.

González, D. E. 2025. Sanidad mamaria en ovejas híbridas a través del conteo de células somáticas en una unidad de producción comercial. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Edo Méx. México.

Gonzalo, C., Carriendo, J. A., Baro, J. A., San Primitivo, F. (1994). Factors Influencing Variation of Test Day Milk Yield, Somatic Cell Count, Fat, and Protein in Dairy Sheep. Jourlan of Dairy Science. pag. 1537-1542

Haenlein, G. F. W. 1992. Role of goat meat and milk in human nutrition. Proc. V Int. Conf. On Goats. Nueva Delhi. pp. 575-580.

Harmon, R. 1995. Mastitis and milk quality. In ‘Milk quality’. Editor F. Harding Blackie Academic & Professional. pp. 420-444

Hazard, S. y Rojas, C. 1988. Registros y controles en producción bovina. p: 1-22. In: Primer Seminario de Producción Animal. Temuco 22-23 de noviembre de 1988. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Carillanca, Temuco, Chile.

Henderson, C.R. (1984). Application of linear models in animal breeding. University of Guelph, Canada, p313.

Hernández, D. F. 2016. Influencia del manejo reproductivo sobre los índices productivos de una explotación intensiva de ovino lechero de raza Lacaune de España. Bases para la mejora de la productividad. Tesis. Universidad Complutense, Madrid, España. En línea: https://eprints.ucm.es/id/eprint/38811/ Consultado 17/02/25.

Jaudal, J. M. 1996. Comparative aspects of goat and sheep milk. Small Rumin. Res. 22: 177-185.

Kervina, R., Sagi R., Hermelin R., Galovic B., Mansson S., Rogelj I., Sobar B. 1984. System solutions for dairy sheep. 2nd edition. Alfa-Lavat Agri International AB, Tumba Sweden.

Kremer, R., Giordano J.P., Rosés L., Rista L. 2015. Producción de ovejas Milchschaf en un sistema lechero en pastoreo. Veterinaria (Montevideo), 51(199), 2.

Kridli, R. T., y González-Bulnes, A. 2011. Sistemas de producción de oveja Awassi y rendimiento reproductivo: una experiencia del medio oriente Awassi sheep production systems and reproductive performance: an experience from the middle east. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*. http://scielo.unam.mx/pdf/rcscfa/v17nspe/v17nspea7.pdf Consultado: 13 de marzo del 2025

Labussière, J., Dotchewski, D., Combaud, J. F. 1981. Caractéristiques morphologiques de la mamelle des brebis Lacaune. Méthodologie pour l'obtention des donneés. Relations avec l'aptitud à la traite. Ann. Zootech., 30: 115-136.

Labussière, J. 1988. Review of physiological and anatomical factors influencing the milking ability of ewes and the organization of milking. Liv Prod Sci 18: 253-274.

Littell, R. C., Pendergast, J., Natarajan Y. R. 2000. Modeling covariance structure in the analysis of repeated measures data. Stat. Med.

Lynch, M, y Walsh, B. 1997. Genetics and Analysis of Quantitative Traits. Sinauer Associates, Inc. USA.

Lynch, M., y Walsh, B. 2002. Genetics and Analysis of Quantitative Traits. Sinauer Associates, Inc. USA.

Longo, M.L., Vargas, F.M., Cansian, K., Souza, M. R., Burin, P.C., Seno, L.O., Silva, A. L. A., Costa, C.M. y Leonardo, A. P. 2016. Production and composition of milk during the period suckling of sheep "Pantaneiros" bred in Mato Grosso do Sul, Brazil. Programa de Posgrado en Zootecnia de Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD Dourados, MS, Brazil. pag 387-392

Mehta, BM. 2015. Composición química de la leche y los productos lácteos. Mehta, B. (eds) Manual de química alimentaria. pp:511- 553.

Macedo, F. L., Reverter, A., y Legarra, A. (2020). *Including genotypic information in genetic evaluations increases the accuracy of sheep breeding values*. PMC.

Marchant, I., Orihuela, A., Vázquez, R y Aguirre, V. 2021. Caracterización de la curva de lactancia y calidad de la leche en ovejas Santa Cruz (Ovis aries). Revista mexicana de ciencias pecuarias. Vol. 12. Morelos, México.

Molina, M. P. 1987. Composición y factores de variación de la leche de oveja de Raza Manchega. tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. 219 págs.

Molinero, L. 2003. ¿Qué es el método de estimación de máxima verosimilitud y cómo se interpreta?. Liga española para la lucha contra la hipertensión arterial.

Mrode, R. 2005. Linear models for the prediction of animal breeding values. 2nd ed. CABI publishing, UK.

Muller, J.P y Cueto, M.I. 2010. Actualización en Producción Ovina. Diseño e implementación de planes de mejoramiento genético. Departamento de Producción Animal Estación Experimental Agropecuaria Bariloche Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA EEA Bariloche. San Carlos de Bariloche (8400). Río Negro, Argentina.

Nava, A., Martínez, R. D., Mastache, A. A. y Ulloa, R. 2019. Curva de rendimiento y composición de leche en ovejas criollas de la Montaña de Guerrero, México. Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Guerrero, México.

Nicholas, F. 1996. Introduction to Veterinary Genetics. Oxford University Press. 1996. xiv + 317 pages. Paperback. Price £17.95. ISBN 0 19 854292 5. *Genetics Research*, *68*(1), 92.

Nudda, A., Bencini, R., Mijatovic, S. y Pulina, G. 2002. The Yield and Composition of Milk in Sarda, Awassi, and Merino Sheep Milked Unilaterally at Different Frequencies. Journal of Dairy Science, Volume 85, Issue 11, Pages 2879-2884

OCDE – FAO. 2020. perspectivas agrícolas 2020. https://www.oecd-ilibrary.org/sites/8b675a1a-es/index.html?itemId=/content/component/8b675a1a-es#:~:text=linklink%20copied!-,7.1.,millones%20de%20toneladas%20(Mt). Consultado: 6 de diciembre de 2024.

Paape, M. G., Wiggans, G. R., Bannerman, D. D., Thomas, D. L., Sanders A. H., Contreras, A., Moroni, P., Miller, R. H. 2007. Monitoring goat and sheep milk somatic cell counts, Small Ruminant Research, Volume 68, Issues 1–2, Pages 114-125, ISSN 0921-4488

Partida, P. J. A., Braña, V. D., Jiménez, S. H., Ríos, R. F. G. y Buendía, R. G. 2013. Producción de carne ovina. Libro técnico N° 5. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ajuchitlán, Querétaro.

Peña, M. J. 2022. Diseño e implementación de registros productivos y reproductivos en hacienda Sincerin, San Anterito-Córdoba. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Bucaramanga, Colombia.

Pirisi, A., Piredda, G., Podda, F., Pintus, S. 1994. Effect of somatic cell count on sheep milk composition and cheese making properties. Proceedings of the International symposium 'Somatic cells and milk of small ruminants', Bella, Italy, 25-27 September.

Posadas, M. V. 2012. Obtención del Valor Genético Predicho en Animales Incluyendo el Efecto del Medio Ambiente Permanente Obtención del Valor Genético Predicho en Animales Incluyendo el Efecto del Medio Ambiente Permanente. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*. https://doaj.org/article/09bd2a1a54ee4275925f86c80bf1e61e Consultado 9 de diciembre del 2024.

Quaas, R. L. y Pollak, E. J. 1980. Mixed model methodology for farm and ranch beef cattle testing programs. J Anim Sci ; 51:1277-1287

Quispe, J., Alfonso, L., y Rodríguez, J. (2009). *Estimación del proceso genético de seis esquemas de selección en alpacas (Vicugna pacos L.) Huacaya con tres modelos de evaluación en la región altoandina de Huancavelica*.

Ramón, M; Román, M, Arias, R; Gallego, R; Pérez-Guzmán, M.D. 2004. Conteo de células somáticas (CCS) en leche de tanque en ganaderías de ovino Manchego. En: XXI Jornadas del Grupo de Técnicos Especialistas en Mamitis y Calidad de la Leche. 8 -9 de octubre, Oviedo, España, pp. 52-53.

Ramos, M. y Juárez, M. 2003. Sheep milk. En: Rogisnski,J., Fuquay, J.W., Fox, P.F. (Eds.), Encyclopedia of Dairy Sciences (pp. 2539-2545), Vol. 4, Amsterdam, The Netherlands: Academic Press.

Raynal-Ljutovac, K., Pirisi, A., De Crémoux, R., Gonzalo, C. 2006. Somatic cells of goat and sheep milk: Analytical, sanitary, productive and technological aspects. *Small Ruminant Research*, *68*(1-2), 126-144.

Recio, A. 2023. El orden de entrada y la calidad de la leche como indicativo del estado sanitario y bienestar de las ovejas lecheras. Trabajo presentado para la superación de 15 créditos del Módulo Trabajo Fin de Máster del Máster Oficial en Calidad de Alimentos de Origen Animal. Universitat Autónoma de Barcelona, Facultad de Veterinaria, Barcelona, España.

Rovai, M., Such, X. Piedrafita, J. Caja, G., Pujol, M. R. 1999. Evolution of mammary morphology traits during lactation and its relationship with milk yield of Manchega and Lacaune dairy sheep. Genética Millora Animal, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, España.

Ruiz, A. 2000. Planificación de la Mejora en Ovino-Caprino lechero: Eficiencia productiva mediante la implementación de un sistema de registro, control y seguimiento de la producción láctea. Estación Agrícola Experimental. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. León, España.

Rupp, R., Bergonier, D., Hidrógeno, M. C., Robert-Granié, C., Foucras, G. 2009. Response to somatic cell count-based selection for mastitis resistance in a divergent selection experiment in sheep. Journal of Dairy Science. Roqueford, Francia.

SAGARPA, 2015, Propuesta de capacitación para el desarrollo de capacidades pecuarias con visión empresarial orientadas a micro, pequeños y medianos productores de ganado ovino. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346968/Capacidad_Pecuaria_Detallado.pdf Consultado: 11 de enero del 2025.

Saltijeral, J.,A. y Córdova, I. A. 2019. Perspectivas de la producción de leche de oveja en México. Perspectivas de la producción de leche de oveja en México. Borrego y Cabra. La Revista Borrego. Año 1, No. 01. Noviembre.

Schaeffer, L. R. (2004). *Invited review: Advances and applications of random regression models: From quantitative genetics to genomics*. Journal of Dairy Science, 87(4), 1296-1305.

Simm, G. 1998. Genetic improvement of cattle and sheep. Farming Press. United Kingdom. 433 p.

Solís, R. J., Romero, E.E. y Rivera, S. M. B. 2015. Los recursos zootécnicos criollos en México: Un recurso necesario. Ovinos. 1ª Edición. BBA Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados. México. 188p.

Sorensen, D. y Gianola, D. (2002). *Linear Models in Animal Breeding*. Springer-Verlag.

Stazionati, M. F., Maizon, D.O., Giovambattista, G., Gigli, I. (2019). Estimación de parámetros genéticos para caracteres de producción de leche y mastitis subclínica en ovinos Pampinta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, vol. 45, núm. 1, pp. 127-135.

Suárez, V. H. y Busetti, M. R. 1999. Lechería ovina y aptitud lechera de la raza Pampinta. Boletín de divulgación técnica Nº 63. 62p.

Such, X., Caja, G., Perez, L. y Peris, S. 1995. Primeros resultados de la comparación de la aptitud al ordeño mecánico de ovejas Lacaune y Manchega: 2 cinética de emisión de leche. VI Jornada sobre producción animal. Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. ITEA. 2 (16):711-713.

Tardánguila, J. A. y Gonzalo, C. 1999. Control de mastitis y producción de leche de alta calidad higio-sanitaria en el ganado ovino lechero de raza churra. Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de León. España.

Thomas, L., Berger, M., McKusick, C. y Gottfredson, G. 2000. Comparison of east friesian-crossbred and lacaune-crossbred ewe lambs for dairy sheep production. 1Department of Animal Sciences and 2Spooner Agricultural Research Station University of WisconsinMadison, Madison, Wisconsin, USA.

Thomas, J., Dalla Fontana, L., Ramos, E., Thomas, J., Demaria, M., Costamagna, D., Faggiano, M., Bonzi, E. 2012. Factores de riesgo de contaminación de la leche con bacterias esporuladas (Clostridium) en establecimientos lecheros de la provincia de Santa Fe. Revista FAVECiencias Agrarias, 11 (1): 19-28.

Trejo, G. E. 2009. Leche ovina, el negocio en México. Periódico el economista. https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Leche-ovina-el-negocio-en-Mexico-20090416-0002.html. Consultado: 3 de mayo de 2024.

Van Arendonk, J. A. M. 1985. A model to estimate the performance, revenues and costs of dairy cows under different production and price situations. Agric. Systems 16: 157-189.

VanRaden, P.M. y Wiggans, G.R. (1991) Derivation, calculation and use of national animal model information. Journal of Dairy Science 74, 2737–2746.

Van Vleck, D., Pollak, J. and Oltenacu, B., 1987. Genetics for the animal sciences. W.H. Freeman and Company, USA, p 230.

Velarde, G. J., Villalobos-López, N., Sainz-Ramírez, A. 2022. Factores que afectan los parámetros de la curva de lactancia de ovejas mestizas lecheras en un rebaño de la sierra de México. Tropical Animal Health Prod. (54): pp:373-378.

Venegas, B. 2013. Caracterización de la morfología mamaria y control lechero en un rebaño comercial de ovejas Guirras. Universitat Politécnica de Valencia. España.

Vernon, R. G. 1980. Metabolismo lipídico en el tejido adiposo de rumiantes. Prog. Lipid Res, 19: 23-106.

Walstra, P. y Jenness, R. 1984 Química y Física Lactológica. 1a. de Bernabé Sanz Perez (Trad.). ACRIBIA, S.A. Minnesota. 423 p.