Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

Ingeniería Agronómica

Proyecto Especial de Graduación

Análisis de indicadores genéticos en vacas Holstein lactantes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano utilizando la prueba CLARIFIDE PLUS®

Estudiantes

Jacqueline Elisa Alfaro Funes

Marjorie Cecilia Ventura Panameño

Asesoras

Marielena Moncada Laínez, Ph.D.

Kenia Lizeth David Lagos, M.Sc.

Honduras, octubre 2024

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

JULIO NAVARRO

Secretario General

Contenido

Índice de Figuras 5

Resumen 6

Abstract 7

Introducción 8

Materiales y Métodos 10

Ubicación y Duración 10

Unidades Experimentales 10

Protocolo para Toma de Muestras 10

Variables 11

Índice de Beneficio del Bienestar en la Lechería® (DWP$) 11

Mérito Neto (NM$) 11

Merito en Pastoreo (GM$) 11

Índice de Desempeño Total (TPI) 11

Índice de Rasgos de Bienestar® (WT$) 13

Índice de Bienestar del Ternero® (CW$) 13

Producción de Leche 13

Grasa 13

Proteína 13

Beta-Caseína 13

Índice de Fertilidad (FI) 13

Conteo de Células Somáticas (CCS) 13

Mastitis (Z_MAST) 14

Índice de Eficiencia de Alimentación Holstein (FE) 15

Alimento Ahorrado (FS) 15

Resultados y Discusión 16

Índice de Beneficio del Bienestar en la Lechería® (DWP$) y Mérito Neto (MN$) 16

Mérito en Pastoreo (GM$) 18

Índice de Desempeño Total (TPI) 20

Índice de Rasgos de Bienestar® (WT$) 21

Índice de Bienestar del Ternero® (CW$) 23

Producción de Leche, Grasa y Proteína (kg) 24

Beta Caseína A2 27

Índice de Fertilidad (FI) 30

Conteo de Células Somáticas (CCS) y Mastitis (Z_MAST) 31

Eficiencia de Alimentación Holstein (FE) y Alimento Ahorrado (FS) 33

Conclusiones 36

Recomendaciones 37

Referencias 38

Índice de Figuras

Figura 1 Valores genéticos de Índice de Beneficio de Bienestar en la Lechería® (DWP$) y Mérito Neto (MN$) estimados en hembras de raza Holstein 17

Figura 2 Valores genéticos de Mérito en Pastoreo (GM$) estimados para hembras de raza Holstein 19

Figura 3 Valores genéticos de Índice de Desempeño Total (TPI) estimados para hembras de raza Holstein 21

Figura 4 Valores genéticos de Índice de Rasgos de Bienestar® (WT$) estimados para hembras de raza Holstein 22

Figura 5 Valores genéticos del Índice de Bienestar del Ternero® (CW$) estimados para hembras de raza Holstein 23

Figura 6 Valores genéticos estimados de Producción de leche (kg) en relación con los caracteres de grasa y proteína (kg) para hembras de raza Holstein 26

Figura 7 Valores para el carácter de Beta Caseína A2 en hembras de raza Holstein 28

Figura 8 Hembras de raza Holstein según grupo de Beta Caseína 29

Figura 9 Valores genéticos del Índice de Fertilidad estimados para hembras de raza Holstein 31

Figura 10 Valores genéticos estimados para hembras de raza Holstein para el carácter de Mastitis (%) en relación con el Conteo de Células Somáticas (Log) 33

Figura 11 Valores genéticos estimados para hembras de raza Holstein para el carácter Eficiencia de Alimentación Holstein en relación con el Ahorro de Alimento 35

Resumen

La genómica ha transformado el mejoramiento genético al permitir un análisis detallado del genoma de los animales, facilitando la selección de individuos con características superiores. Este enfoque integral ayuda a identificar rasgos que proyectan la rentabilidad tanto del animal como de su descendencia a lo largo de su vida productiva. La genómica impulsa la evolución, sostenibilidad y eficiencia en la industria ganadera. Esta investigación tuvo como objetivo realizar una evaluación genómica de vacas Holstein lactantes en el hato lechero de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, con el fin de identificar las vacas más eficientes en términos de productividad, calidad de leche y resistencia a enfermedades. La evaluación se llevó a cabo mediante la prueba genómica Clarifide Plus®, desarrollada por el laboratorio Zoetis®. Se estudiaron 29 vacas Holstein, seleccionando las mejores según el número de lactancias ≥1, beta-caseína (proteína A2A2 o A1A2) en los padres, la prueba genómica OptiMate™ Semex® ≥50 y valor relativo de las madres ≥100 obtenidos del programa VAMPP Bovino. Se analizaron índices económicamente importantes como el Beneficio de Bienestar en la Lechería (DWP$), Mérito Neto (MN$), Mérito en Pastoreo (GM$); índices productivos específicamente grasa, proteína, producción de leche, beta-caseína A2, Eficiencia de Alimentación Holstein (FE), Alimento Ahorrado (FS); reproductivos como Desempeño Total (TPI), Índice de Fertilidad (FI) y de salud o bienestar como Rasgos de Bienestar (WT$), Bienestar del Ternero (CW$), Conteo de Células Somáticas (CCS), Mastitis. Se identificaron animales con valores genéticamente superiores, lo que permitirá tomar decisiones informadas para mejorar la rentabilidad a largo plazo.

Palabras clave: Genómica, genotipo, mejoramiento genético, productividad, selección.

Abstract

Genomics has transformed genetic improvement by providing advanced tools for detailed genome analysis, enabling a more precise selection of animals with superior traits. This comprehensive approach helps identify productive, reproductive, and economic characteristics, projecting profitability for the animal and its offspring throughout their productive life. Genomics drives evolution, sustainability, and efficiency in the dairy industry. This study aimed to conduct a genomic evaluation of Holstein cows at the dairy herd of Escuela Agricola Panamericana Zamorano to identify the most efficient cows in terms of productivity, milk quality, and disease resistance. The evaluation was performed using the genomic test Clarifide Plus®, developed by Zoetis®. Twenty-nine Holstein cows were studied, selecting the best based on criteria such as the number of lactations ≥1, the presence of beta-casein (protein A2A2 or A1A2) in the parents, herd position according to the OptiMate™ Semex® genomic test ≥50, and maternal relative value parameters ≥100 obtained from the VAMPP Bovino program. Combined economically important indices such as Dairy Wellness Profit (DWP$), Net Merit (MN$), Grazing Merit (GM$), productive (milk, fat, protein, beta-casein A2, Holstein Feeding Efficiency (FE), Saved Feed (FS), reproductive like Total Performance (TPI), Fertility (FI), and health or welfare such as Calf Wellness (CW$), Wellness Traits (WT$), Somatic Cell Count (CCS), Mastitis) were analyzed. Genetically superior animals were identified, enabling informed decision-making to improve long-term profitability.

Keywords: Genetic improvement, genomics, genotype, productivity, selection.

Introducción

El aumento poblacional sobre todo en países en vía de desarrollo ha conllevado a una creciente demanda de productos pecuarios, por lo que, para los productores ha surgido el desafío de optimizar y eficientizar su producción animal para lograr seguridad alimentaria. Debido a esto, es necesario tomar en cuenta los factores clave para el funcionamiento de una explotación que son manejo, alimentación, reproducción y genética (Reyes y Vásquez, 2012). Estos influyen en la rentabilidad para el productor, debido a que, si los parámetros reproductivos del hato no son óptimos, la productividad de las hembras y el progreso genético podrían verse afectados (Calero et al., 2022).

Actualmente, es posible identificar fenotípicamente los mejores animales por medio de programas de mejoramiento genético, para esto, es indispensable llevar control de los datos productivos, reproductivos y de pedigrí, para tener registros de la expresión fenotípica para la característica de interés (Ángel et al., 2013).

La producción de leche está influenciada por el genotipo y ambiente o manejo (Uribe y Mujica, 2003), siendo el genotipo el que se puede transmitir de padres a hijos. La genética tiene una influencia en un 60% de la variación de los componentes de la leche siendo estos heredables y resalta la selección de reproductores que contribuyan a optimizar componentes en la leche (A. M. Carvajal, 2015). Además, es indispensable mejorar su bienestar animal para que estos expresen su máximo potencial genético, sean más saludables y longevos.

De acuerdo con la Organización Mundial de Sanidad Animal (2017) la salud animal desempeña un papel importante en el mantenimiento del equilibrio sanitario, socioeconómico y medioambiental mundial. Por lo tanto, la mejora genética en vacas lecheras es esencial para promover la salud y el bienestar animal. Al seleccionar rasgos genéticos favorables, como la resistencia a enfermedades, existe la posibilidad de mejorar la calidad de vida del animal, reducir la necesidad de tratamientos y promover una vida útil y una productividad más larga. Además, en los sistemas de producción de alimentos, centrarse en el bienestar animal puede mejorar la productividad, la calidad, la seguridad

alimentaria y beneficios económicos, contribuyendo así a la seguridad alimentaria, producción sostenible y el bienestar económico.

El primer paso en un programa de mejoramiento genético es determinar el objetivo final, que en ganado lechero se define como maximizar de ganancias o rentabilidad. El segundo paso es identificar los rasgos genéticamente controlados o los rasgos que afectan la rentabilidad de la producción de leche. De esta manera, no sólo los rasgos de producción son relevantes, sino también reproductivos (A. Carvajal et al., 2012).

El mejoramiento genético en bovinos lecheros ha contribuido a la evolución, la sostenibilidad y la eficiencia de la industria ganadera; proporciona herramientas o técnicas que permiten identificar y seleccionar animales con características superiores o deseables para obtener hatos más saludables y productivos. De igual manera, las pruebas genómicas han facilitado la selección de animales genéticamente superiores en parámetros productivos como reproductivos proporcionando un estudio detallado de la variabilidad genética que nos permite obtener datos precisos sobre el ADN.

La prueba genómica desarrollada por Zoetis® provee información detallada sobre las características genéticas económicamente relevantes de las vacas lecheras como fertilidad, crecimiento y calidad. Al realizar la selección de animales potencialmente superiores aportamos a la mejora de la rentabilidad, reducción de incidencia a enfermedades y la toma de decisiones sobre la selección o manejo del hato. Además, destacar que deben ser razonablemente heredables, donde los caracteres sean transmitidos de generación en generación, de padres a hijos, para ello, es fundamental considerar su nivel de heredabilidad (alta, media o baja) para las respectivas características de interés (Vergara y Truffer, 2004).

El objetivo establecido para esta investigación es realizar una evaluación genómica de vacas de raza Holstein en el hato lechero de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, donde se determinaron las más eficientes en términos de productividad, calidad de leche y menos propensas a enfermedades.

Materiales y Métodos

Ubicación y Duración

El experimento se llevó a cabo en la Unidad de Aprendizaje y Producción (UAP) de Ganado Lechero, en la sección de ordeño de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Esta institución está ubicada en el Valle del Río Yegüare, a 30 km de Tegucigalpa, en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras. La región presenta una temperatura promedio de 26 °C, una altitud de 800 msnm y recibe precipitaciones anuales de aproximadamente 1,100 mm. El estudio se realizó durante los meses de mayo a julio de 2024.

Unidades Experimentales

Se utilizaron un total de 29 vacas de raza Holstein en fase productiva para el estudio. La selección de las vacas se basó en diferentes criterios: vacas cuyo valor relativo de la madre ≥100, obtenido del programa VAMPP Bovino (PDC promedio de la lactancia de cada vaca en relación con la PDC de referencia) elegidas por su capacidad para expresar su máximo potencial productivo y reproductivo dentro del hato. Donde, se complementó con el análisis de la prueba OptiMate™ Semex® ≥50% (porcentaje de clasificación dentro del hato) que indica cómo se posiciona un animal en comparación con el resto de los animales dentro del mismo grupo. Además, lactancia ≥1, estar en posesión de crías de sexo femenino, y sus padres debían presentar Beta-caseína (proteína A2A2 o A1A2). La evaluación genética se realizó utilizando la prueba genómica Clarifide Plus®, desarrollada por el laboratorio Zoetis®.

Protocolo para Toma de Muestras

Se identificó y separó a cada animal de su grupo productivo asignado por la Unidad de Ganado Lechero (campeonas, élite, producción media y secas). Posteriormente, los animales fueron trasladados a la sala de ordeño tipo espina de pescado en grupos de 10 vacas. A continuación, se tomó una muestra de cartílago de la oreja utilizando un removedor de muestras de tejido, depositándola

en un frasco con preservante de formalina al 10%. Seguidamente, se completó y envió el formulario correspondiente para la prueba CLARIFIDE® Plus, basada en selección genómica, establecida por el laboratorio Zoetis® en Nueva Jersey, Estados Unidos. En el registro se incluyó el código de barras del recolector de muestras, el número de trazabilidad, el número de identificación de la finca, el tipo de muestra, el sexo del animal, la raza, la fecha de nacimiento y el registro del padre.

Variables

Índice de Beneficio del Bienestar en la Lechería® (DWP$)

Índice de selección que refleja la relación entre el riesgo de enfermedad y el impacto de esta en el beneficio económico vitalicio potencial de un animal. Expresado en dólares, los valores positivos más altos indican que el animal posee un mayor potencial genético para generar y transmitir ganancias a lo largo de su vida.

Mérito Neto (NM$)

Expresa la ganancia esperada a lo largo de la vida productiva de la vaca, comparándola con la base de la raza, teniendo en cuenta los rasgos económicamente relevantes. Estos rasgos incluyen la producción de grasa, proteína y leche, la longevidad, la salud, la facilidad de parto y la conformación general. Los parámetros específicos utilizados en el índice abarcan la producción de grasa, proteína y leche, la vida productiva, la tasa de preñez de las hijas, el nivel de células somáticas, la conformación de la ubre, las patas y las pezuñas, el tamaño corporal y la habilidad de parto.

Merito en Pastoreo (GM$)

Este índice refleja la combinación de rasgos económicamente importantes y características específicas que influyen en la producción, similar al NM$, pero con un énfasis mayor en la fertilidad.

Índice de Desempeño Total (TPI)

Índice oficial de selección para la raza Holstein, que clasifica a los animales en función de una combinación de mérito genético para rasgos de producción, salud y conformación.

Índice de Rasgos de Bienestar® (WT$)

Índice enfocado en las características exclusivas de salud de Zoetis® (mastitis, metritis, laminitis, retención de placenta, cetosis, desplazamiento de abomaso) y calcula el impacto en la rentabilidad asociadas al riesgo de enfermedades de cada animal.

Índice de Bienestar del Ternero® (CW$)

Índice específico para características de salud de terneros y calcula como contribuyen a la rentabilidad de un animal específico.

Producción de Leche

Indica las diferencias genéticas en el total de kilogramos de leche producida durante una lactancia de 305 días.

Grasa

Hace referencia a las diferencias genéticas en la cantidad de grasa de la leche.

Proteína

Describe las diferencias genéticas en la cantidad de proteínas de la leche.

Beta-Caseína

Caracterización del contenido de Beta Caseína producida en la leche.

Índice de Fertilidad (FI)

Índice que involucra caracteres de fertilidad como tasa de vaquillonas, tasa de concepción en vacas y tasa de preñez de las hijas.

Conteo de Células Somáticas (CCS)

Predice indirectamente la susceptibilidad a mastitis por medio de la Prueba Genética Preimplantacional de Aneuploidías (GPT-A) expresado en Log10.

Mastitis (Z_MAST)

Valores con mayor porcentaje son consistentes con los animales que posee en menos riesgo de enfermedad en relación con sus contemporáneos del hato/rodeo con valores más bajos.

Índice de Eficiencia de Alimentación Holstein (FE)

Refleja el índice genético que evalúa las diferencias en la eficiencia de alimentación, considerando el valor en dólares de la producción de leche, el costo adicional de alimentación asociado con la producción de leche extra y el costo adicional de mantenimiento relacionado con el tamaño del cuerpo.

Alimento Ahorrado (FS)

Cantidad de libras esperadas de alimento ahorrado por lactancia expresados con valores positivos.

Resultados y Discusión

Índice de Beneficio del Bienestar en la Lechería® (DWP$) y Mérito Neto (MN$)

El DWP$ es un índice genético que se utiliza para evaluar el potencial de los animales en función de múltiples características relacionadas con el bienestar, así como otros rasgos económicamente importantes como el rendimiento, la salud, la longevidad y la facilidad de parto. Su objetivo es predecir el valor económico esperado (Peralta et al., 2019). Los valores genéticos están desempeñando un papel cada vez más crucial en la toma de decisiones sobre descarte y en la implementación de tecnologías avanzadas de reproducción. Con el avance acelerado de la genética, es esencial contar con un índice de selección formulado que maximice la rentabilidad a lo largo de la vida de la vaca. Este índice debe interpretar y analizar la relación entre la selección económica y los fenotipos para guiar la toma de decisiones basadas en DWP$ (Fessenden et al., 2020).

El Mérito Neto (MN$) es un índice de selección económica estadounidense, publicado por el Consejo de Cría de Ganado Lechero (CDCB). Este índice es el único que expresa objetivamente la rentabilidad esperada de las hijas de una vaca a lo largo de su vida, resumiendo los valores genéticos de caracteres de importancia económica.

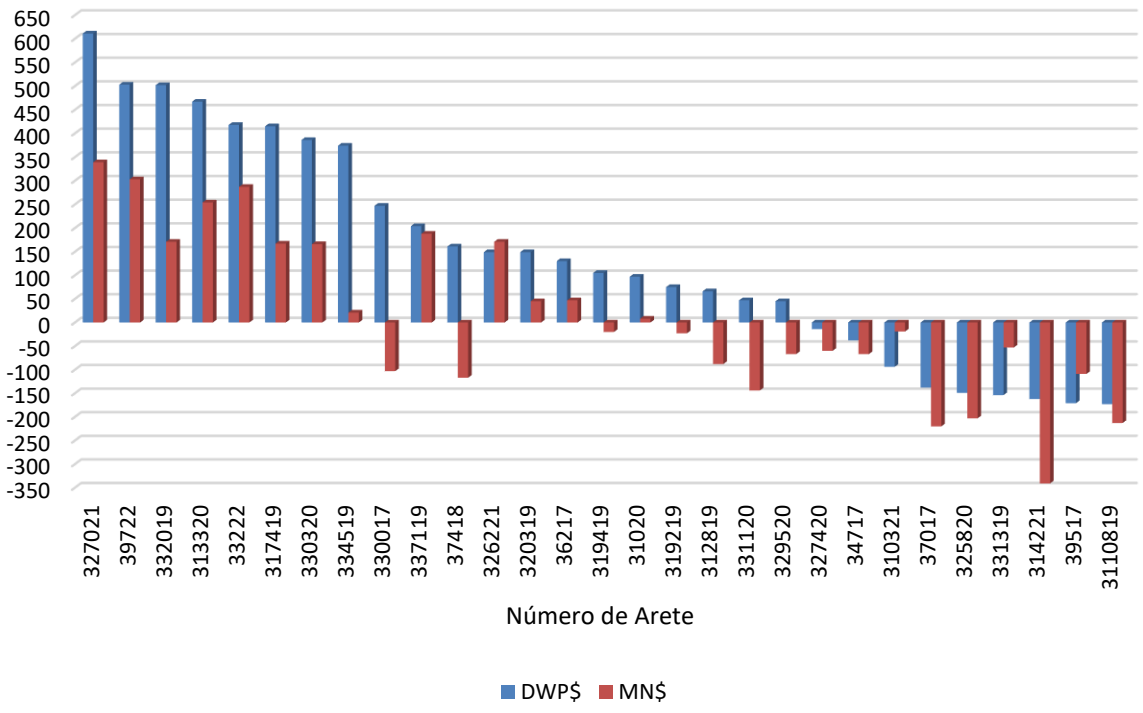
Según Prieto (2021), el MN$ otorga mayor peso a los caracteres relacionados con la salud y producción, y menor peso a las características de conformidad como el tipo el tamaño. Esto se debe a que los animales más grandes tienden a tener una vida productiva más corta y suelen ser menos eficientes en la alimentación, es decir, producen menos leche por cada kilogramo de materia seca que consumen.

En la Figura 1 el eje Y representa el valor del índice DWP$ y MN$, mostrando tanto valores positivos como negativos, mientras que el eje X muestra el número de arete asociado a la identificación de cada animal. Los individuos con valores positivos tanto en el índice del Beneficio de Bienestar de la Lechería como en Mérito Neto indican que son más altos en comparación de las demás vacas genotipadas, tal como la vaca con el número de arete 327021. Esto sugiere una mayor capacidad

para generar ganancias para el hato a lo largo de su vida debido a características genéticas que potencialmente mejoran la rentabilidad y el bienestar del hato, tales como un aumento en la producción lechera, mayor resistencia a enfermedades, mejor eficiencia reproductiva y facilidad de manejo.

Figura 1

Valores genéticos de Índice de Beneficio de Bienestar en la Lechería® (DWP$) y Mérito Neto (MN$) estimados en hembras de raza Holstein



En este índice la mayoría de los animales coinciden con relación a valores de DWP$ y MN$, en ambos índices números positivos son deseables, sin embargo, podemos observar vacas como la número 330017 que tiene un valor positivo en DWP$ y un valor negativo en MN$, es decir, un alto valor en DWP$ indica que tiene menos probabilidad de que su bienestar impacte en su vida productiva y aumentando la rentabilidad. Un valor negativo en MN$ puede indicar que el animal genéticamente no es superior en términos de su vida productiva.

Mérito en Pastoreo (GM$)

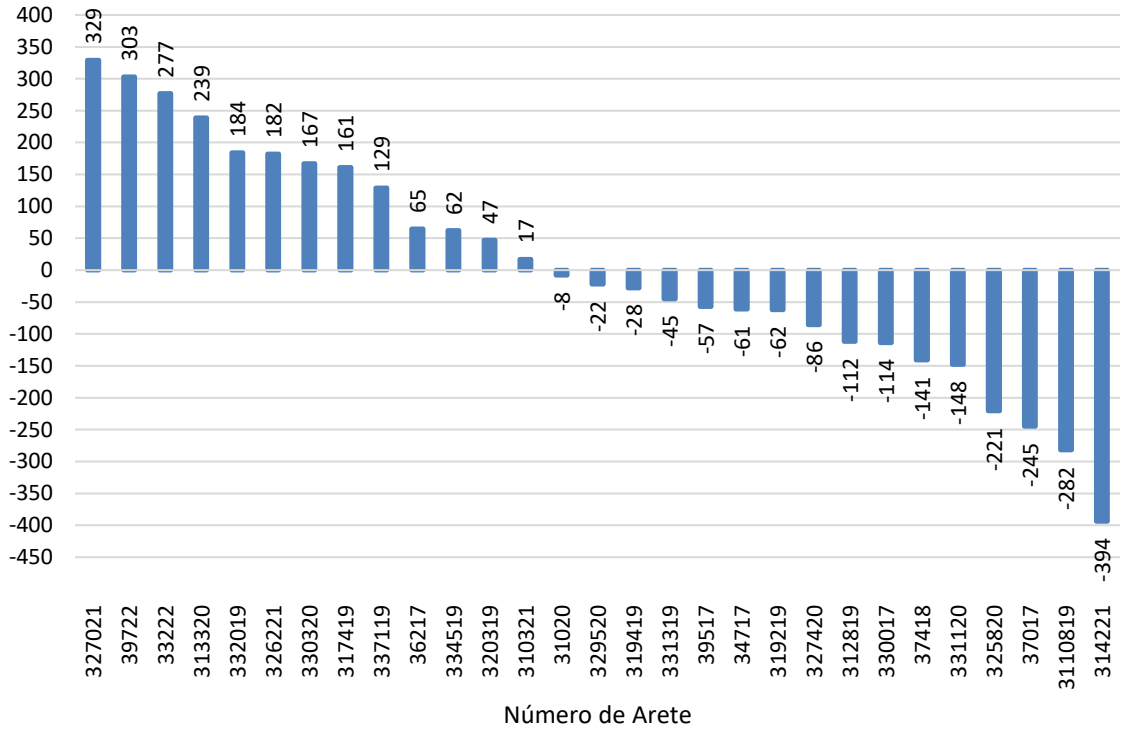
El Mérito en Pastoreo integra rasgos económicamente relevantes como producción, salud, longevidad y facilidad de parto, junto con características específicas como producción de grasa, proteína y leche, vida productiva, tasa de preñez de las hijas, nivel de células somáticas, conformación de la ubre, patas y pezuñas, tamaño corporal y habilidad. Sin embargo, se enfoca con un mayor énfasis en la fertilidad para mantener pariciones estacionadas y sistema de pastoreo intensivos para eficientizar el consumo de pasto.

La Figura 2 señala que el 45% de la población presentó valores positivos y el 55% valores negativos. Los individuos con valores positivos señalan mejor desempeño en cuanto eficiencia en pastoreo, mejor producción de sólidos en la leche, mejor preñez y salud cuando se encuentran en pastoreo, lo cual índica una mayor rentabilidad. En comparación con los animales que presentan valores negativos, estos están por debajo del promedio de la población siendo de menor desempeño y con menor rentabilidad en su vida productiva.

La vaca número 327021 es la que mejor se desempeñó en el GM$, sin embargo, comparado con los registros de VAMPP tuvo su primer parto el 7/12/2023, a pesar de que el clima actualmente sea variable no coincide con época de invierno, no obstante, en la conversión de pasto ha sido eficiente reflejado con un valor de $329. Por otro lado, la vaca número 314221 tuvo el parto en 4/10/2023 que coincide con época de invierno, sin embargo, en mérito en pastoreo no es eficiente con un valor negativo de $394, es decir, consume más de lo que puede producir causando un faltante en utilidad.

Figura 2

Valores genéticos de Mérito en Pastoreo (GM$) estimados para hembras de raza Holstein



En un estudio realizado por Bertot et al. (2019), sus resultados logrados determinan estacionalidad de los nacimientos, al coincidir la tendencia de pariciones con la época de mayor disponibilidad de pastos y, de este modo, facilita el manejo estratégico de los rebaños lecheros.

Se estima que las vacas lecheras en pastoreo tienen una vida productiva más larga en comparación con las vacas en sistemas de confinamiento, sin embargo, a largo plazo esto conlleva a una reducción del valor marginal de la vida productiva, ya que, alargar aún más el tiempo de vida en producción de una vaca en pastoreo intensivo en el hato implica que la vaca puede no estar generando ingresos adicionales en la misma dimensión que antes (Gay et al., 2014).

Para que exista un aumento de ganancias en una producción lechera basada en pastoreo se debe buscar que haya una conversión y aprovechamiento eficiente del pasto por parte de las vacas para convertirlo en producción de leche. Según A. Fernández (2019), los factores que pueden afectar

esta conversión pueden ser genética, gastos de mantenimiento o calidad y cantidad de los forrajes frescos reduciendo el consumo de MS.

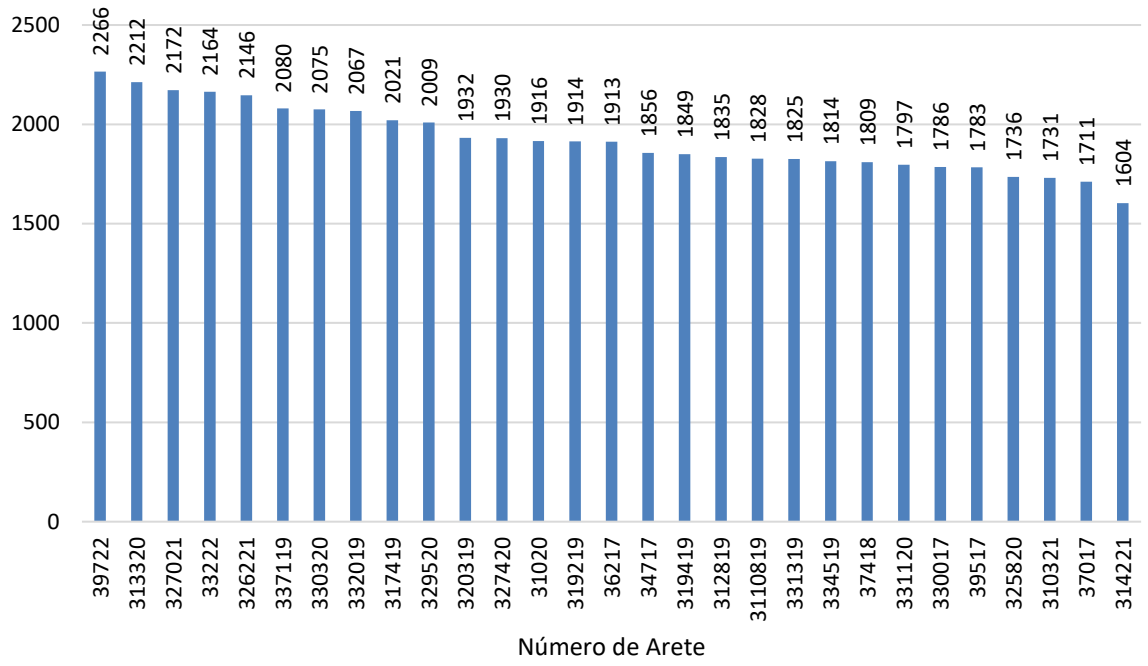
Índice de Desempeño Total (TPI)

Índice de Desempeño Total (TPI) que involucra rasgos de tipo, producción, manejo y durabilidad creado por la Asociación de Holstein de USDA. En la Figura 3 se muestran las vacas en un rango de 2266 a 1604 del índice de TPI, siendo la mayor el individuo con arete número 39722 y la menor el animal 314221. Los individuos con alto rango indican que tienen alto potencial genético, son más productivas y tienen mejor salud y longevidad, reduciendo costos y mejorando la eficiencia alimentaria a comparación de las de menor índice. Cabe destacar que, según Holstein Association USA y Inc. (2017) el TPI le da un 46% de ponderación a características de producción como calidad de la leche, eficiencia alimentaria y peso corporal compuesto. Así como, un 28% a la salud y fertilidad, y 26% a características de conformación.

Así mismo, animales con bajos TPI indican que aún pueden ser muy productivos. Sin embargo, pueden ser deficientes en cuanto a resistencia de enfermedades, calidad de la leche o eficiencia reproductiva.

Figura 3

Valores genéticos de Índice de Desempeño Total (TPI) estimados para hembras de raza Holstein



Índice de Rasgos de Bienestar® (WT$)

Índice de rasgos de bienestar (WT$, por sus siglas en inglés) estima las diferencias en las ganancias esperadas de un animal a lo largo de su vida en relación con la susceptibilidad a enfermedades. Algunos estudios reportan un aumento en la incidencia de ciertas enfermedades comunes de los sistemas de producción lechera como los que evalúa WT$ (mastitis, metritis, cetosis, desplazamiento de abomaso, laminitis y retención de placenta) lo que afecta su capacidad de resistencia a enfermedades, mayores problemas de salud y fertilidad en comparación a las generaciones anteriores (J. Sánchez, 2016).

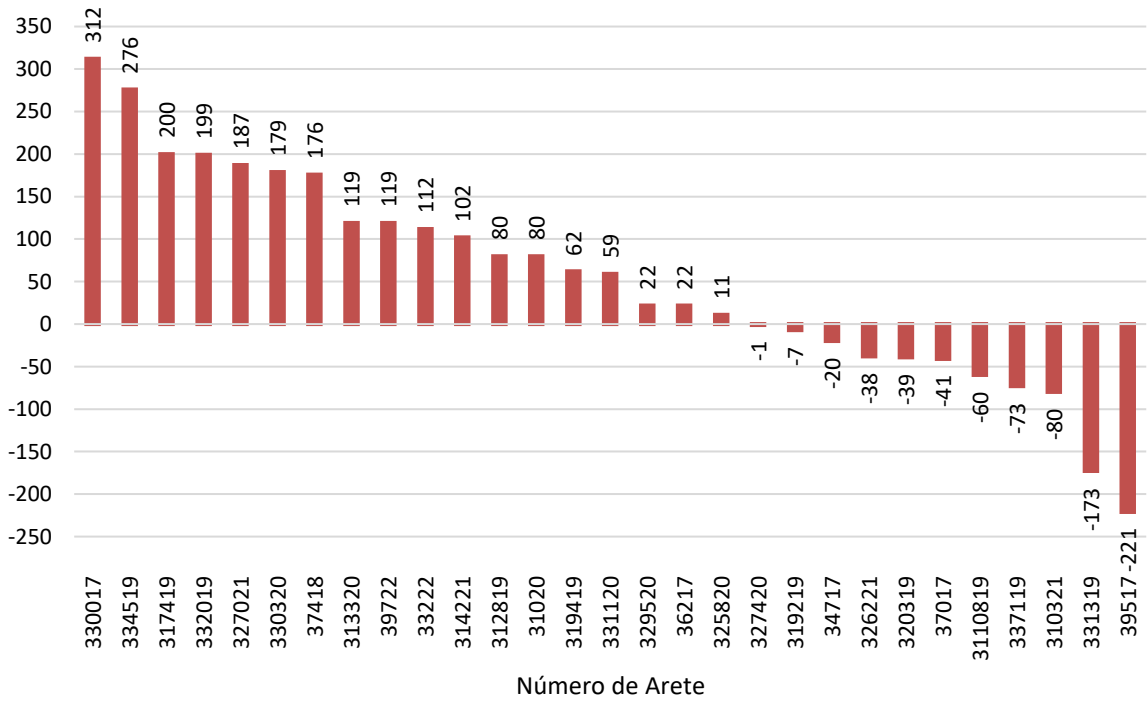
En la Figura 4 se puede visualizar en el eje Y el valor del índice WT$ y en el eje X se muestra el número de arete asociado a la identificación de cada animal. Aproximadamente el 38% de la población está por debajo de la media, los valores negativos representan rentabilidad baja y mayores problemas

de salud disminuyendo su potencial durante su vida productiva en el hato. El 62% de la población tienen valores positivos, esto indica que son más resistentes a enfermedades como mastitis, metritis, cetosis, desplazamiento de abomaso, lamanitas y retención de placenta, esto reduce los costos asociados a la presencia de estas, siendo más rentables y con mayor productividad.

Observamos que la vaca con número de arete 330017 con un WT$ más alto en comparación a los demás muestra un valor de US$312 lo que indica un valor de bienestar sobresaliente que también se puede observar en el valor DWP$, por lo tanto, reducción de costos y menor susceptibilidad a dichas enfermedades obteniendo como resultado un rendimiento superior.

Figura 4

Valores genéticos de Índice de Rasgos de Bienestar® (WT$) estimados para hembras de raza Holstein



Este índice, junto con otros índices de selección genética, se utiliza para mejorar la selección de ganado lechero con mejor salud, longevidad y bienestar general, al integrar estas características aumentamos la precisión de selección genética y se reducen las pérdidas económicas debido a altas

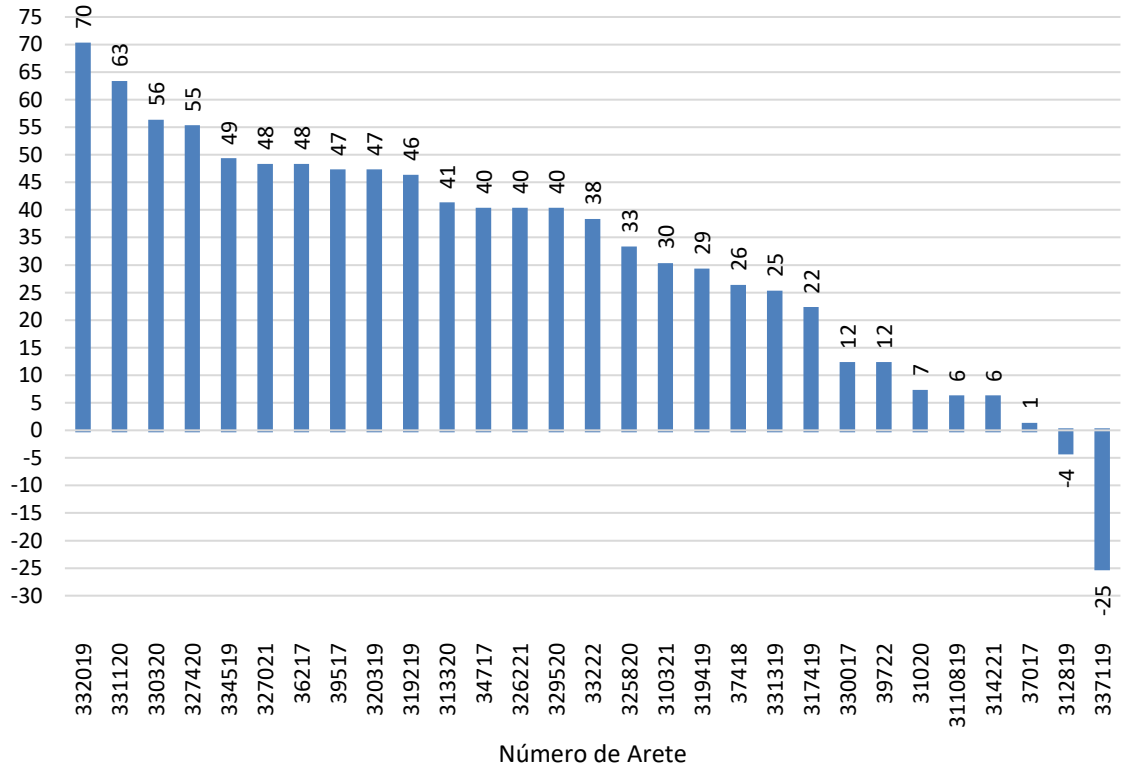
mortalidades o sacrificios involuntarios favoreciendo a la rentabilidad y eficiencia del hato (Zhang et al., 2022).

Índice de Bienestar del Ternero® (CW$)

La selección genética de animales es indispensable para formar hatos más saludables, productivos y rentables (Overton y Dhuyvetter, 2017). De esta manera, el Índice de Bienestar del Ternero® (CW$) se expresa en dólares y reúne los caracteres de salud de supervivencia del ternero, diarreas del ternero y enfermedades respiratorias del ternero, donde determina su impacto en la rentabilidad de un animal.

Figura 5

Valores genéticos del Índice de Bienestar del Ternero® (CW$) estimados para hembras de raza



Holstein

En la Figura 5 se muestran los individuos con los Índices de Bienestar del Ternero donde el 93.1% de la población presenta valores positivos y el 6.9% valores negativos. Los individuos con

valores positivos indican que las crías de estas vacas presentan una mayor resistencia a diarreas y enfermedades respiratorias, así como una mayor supervivencia, por lo tanto, expresan mayor rentabilidad. En contraste, los individuos con índice negativo señalan que son menos eficientes en los mismos caracteres y menos rentables.

Los terneros son fundamentales en los hatos lecheros, ya que representan los futuros reemplazos de las vacas en producción. La salud de los terneros es un factor crucial que influye en los costos y en la expresión de su potencial genético para la producción de leche en la pubertad y en la adultez (Garzón y Vallejo, 2008). Además, según Arroyo (2017), las enfermedades respiratorias, con un riesgo de incidencia que varía entre el 2% y el 39%, y las enfermedades gastrointestinales, con una prevalencia del 19.1% al 21.2%, son las más determinantes durante las primeras semanas y meses de vida del ternero. Además, la diarrea representa más del 50% de las muertes en terneros no destetados, y aquellos con enfermedades respiratorias tienen un menor porcentaje de supervivencia y crecimiento en comparación con los terneros sanos.

Producción de Leche, Grasa y Proteína (kg)

La leche de vaca es un alimento primario en la alimentación humana, desde el punto de vista de su composición, la leche es un alimento altamente nutritivo con relación a su contenido calórico que proporciona proteínas, Hidratos de Carbono, Vitaminas, Minerales y Lípidos (E. Fernández et al., 2015). La producción de leche tiene inicio en la ingesta de alimentos que proporcionen nutrientes absorbidos por el sistema digestivo, trasportados por la sangre hasta llegar a la glándula mamaria para producir leche como lo es proteínas, azúcares, grasas, vitaminas y minerales (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2013).

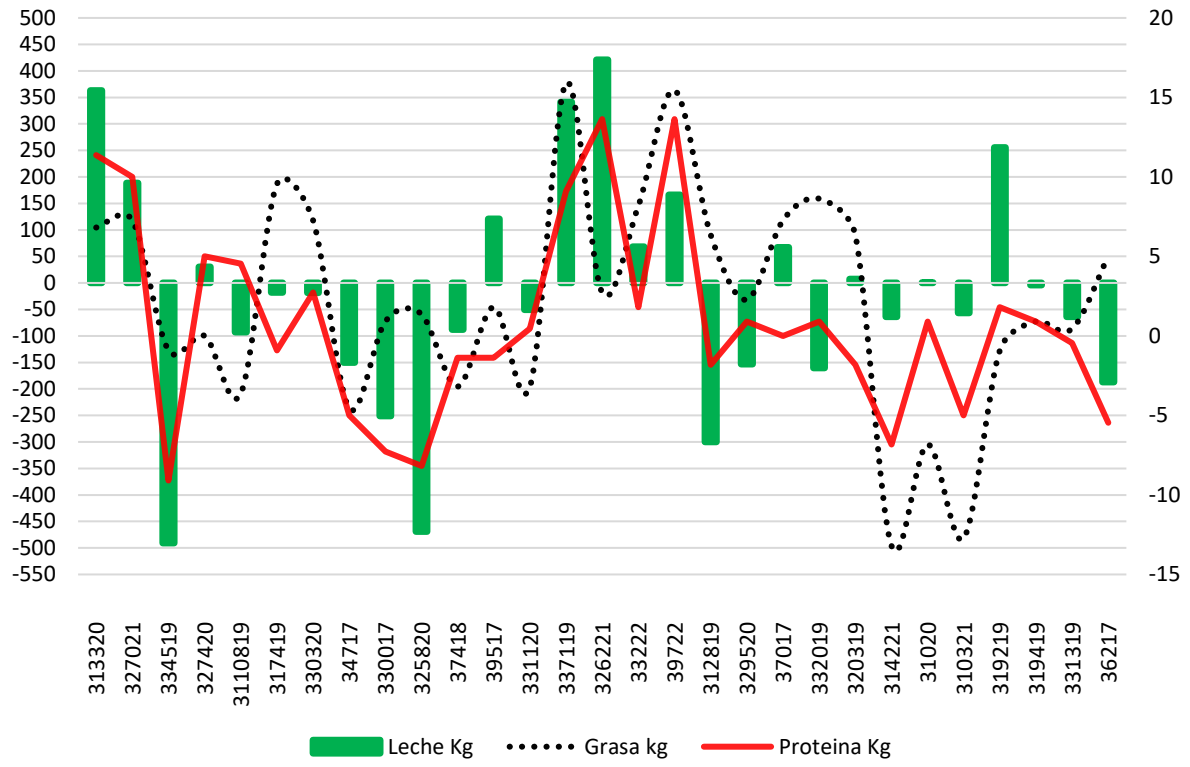
Según la Secretaría de Agricultura y Ganadería (2007) las principales razas de ganado en Honduras para producción de leche son Holstein por sus altos volúmenes de producción, Pardo Suizo caracterizado por su contenido de sólidos totales y proteína y, por último, la raza Jersey que contiene niveles altos en grasa láctea.

De los componentes más importantes de la leche de vaca es la grasa y proteína. La grasa representa aproximadamente 3.5 - 4% del contenido total de la leche, dependiendo de factores como raza, genética y lactancia (Pacheco, 2022). La síntesis de grasa en la glándula mamaria es un proceso complejo que involucra la alimentación del animal y la actividad metabólica de los microorganismos del rumen. La mitad de los ácidos grasos aproximadamente son sintetizados de nuevo en la glándula mamaria, siendo la mayoría ácidos grasos de cadena corta y media (Griinari et al., 2000). La alimentación influye de manera directa en la composición de la grasa en la leche, ya que, precursores como el acetato y el β-hidroxibutirato son importantes para la síntesis lipídica en la ubre (Bauman y Griinari, 2003).

Así mismo, las proteínas representan aproximadamente 3.5% de la leche que se divide en divide en tres principales grupos de proteínas según su reacción soluble con relación a pH 4.6, los cuales son: caseínas, proteínas del suero y proteínas que conforman la membrana del glóbulo graso (Padilla y Zambrano, 2021). Las caseínas conforman aproximadamente el 80% de las proteínas de la leche y su presencia es importante para la elaboración de productos lácteos por su capacidad de coagulación (García et al., 2014). Por otro lado, las proteínas del suero representan aproximadamente el 20%, estas se consideran de calidad nutricional por su contenido de aminoácidos esenciales y es sumamente soluble (Navarro, 2006).

Figura 6

Valores genéticos estimados de Producción de leche (kg) en relación con los caracteres de grasa y proteína (kg) para hembras de raza Holstein



La Figura 6 muestra se muestran los valores positivos y negativos de producción de leche, grasa y proteína expresado en kilogramos. Los valores positivos indican que estos individuos expresan mayor producción de leche y está por arriba del promedio esperado por lactancia, y de la misma manera, una mejor calidad en cuanto a grasa y proteína. De igual forma, los valores negativos indican que la producción, cantidad de grasa y proteína de estos individuos están por debajo del promedio esperado.

Se puede observar que algunos animales presentan producción de leche positiva y cantidad de grasa y proteína negativa. De acuerdo con un estudio realizado por Vargas et al. (2020), en una lactancia la grasa y proteína tienden a disminuir, a comparación de su producción de leche donde su

curva de lactancia tiende a aumentar y alcanza el mayor pico de producción, esto debido a un efecto de dilución.

Beta Caseína A2

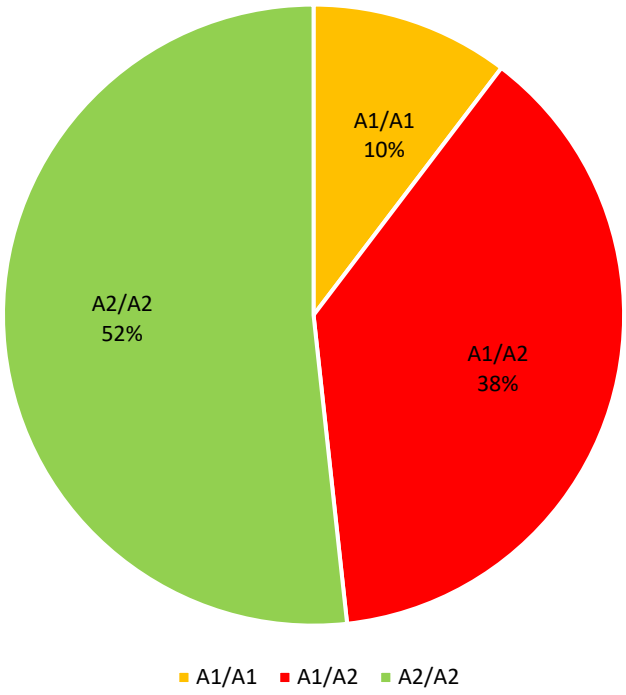
Es una variante de caseínas presentes en la leche, las β-caseínas son una de las principales proteínas que constituyen aproximadamente 37% del total las caseínas de la leche de vaca (R. Sánchez y Sepúlveda, 2021).

Existen dos variantes principales de la beta caseína que se diferencian por un aminoácido en la posición 67 en su estructura: A1 tiene el aminoácido histidina y A2 tiene el aminoácido prolina. Esta diferencia hace que las enzimas digestivas reaccionen sobre la proteína A1 y se hidrolice produciendo un péptido llamado beta-casomorfina-7 (BCM-7) que se ha asociado con efectos negativos para la salud humana y sea difícil de digerir en comparación con la A2 (Jiménez et al., 2022).

Un estudio realizado por Ramakrishnan et al. (2020) demostraron que la β-caseína con el gen A2 en la leche es más fácil de digerir que leche con beta caseína A1, donde concluyeron que la ingesta de leche A2 provocó menos síntomas de intolerancia a la lactosa que la leche convencional en pacientes con intolerancia a la lactosa o problemas digestivos.

Figura 7

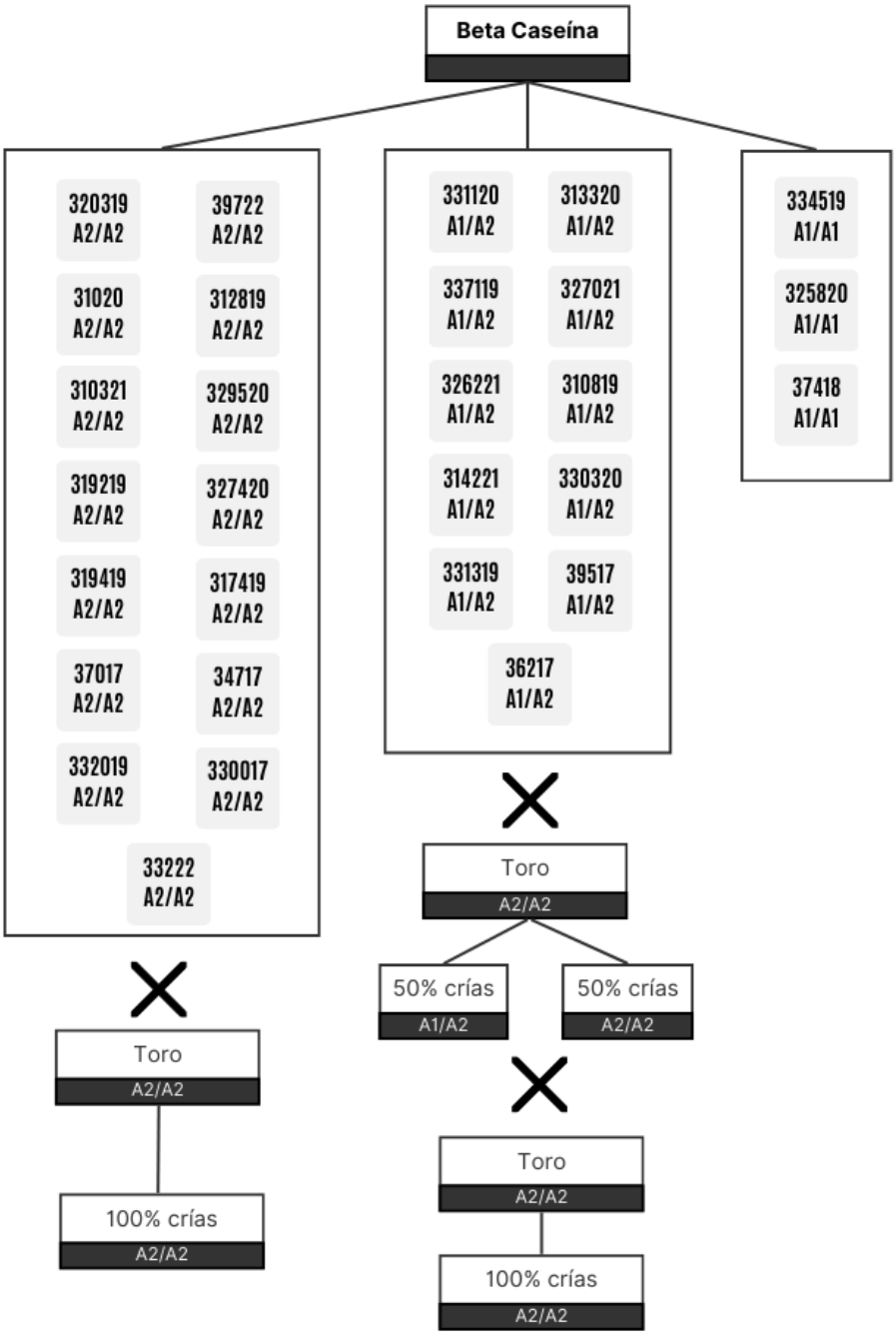
Valores para el carácter de Beta Caseína A2 en hembras de raza Holstein



Se puede observar que aproximadamente el 10% de la población son A1A1 (tres vacas), 38% son A1A2 (11 vacas) y 52% son A2A2 (15 vacas), 29 vacas en total.

Figura 8

Hembras de raza Holstein según grupo de Beta Caseína



En la Figura 8 se observa la población dividida en tres grupos según el tipo de β-caseína que producen: El grupo A2/A2 (columna izquierda) las vacas tienen ambos alelos A2 de beta caseína, El

grupo A1/A2 (columna central) cada vaca tiene alelos heterocigotos y el grupo A1/A1 representa vacas que tienen ambos alelos A1.

Mediante la selección genética, el animal hereda una copia del gen de su padre y una del gen de su madre. Para aumentar la población de vacas con beta caseína A2/A2, es necesario realizar cruces con toros que contengan el gen A2 para obtener 100% de probabilidad de que las crías sean con gen beta caseína A2A2 (Meyer, 2018). La prueba genómica permite identificar el tipo de beta-caseína presente en la leche de cada animal, con el objetivo de formar un hato que produzca exclusivamente leche A2, el cuál según Heins (2019) al obtener resultados de la prueba genómica se puede determinar que animales conservar o descartar.

Índice de Fertilidad (FI)

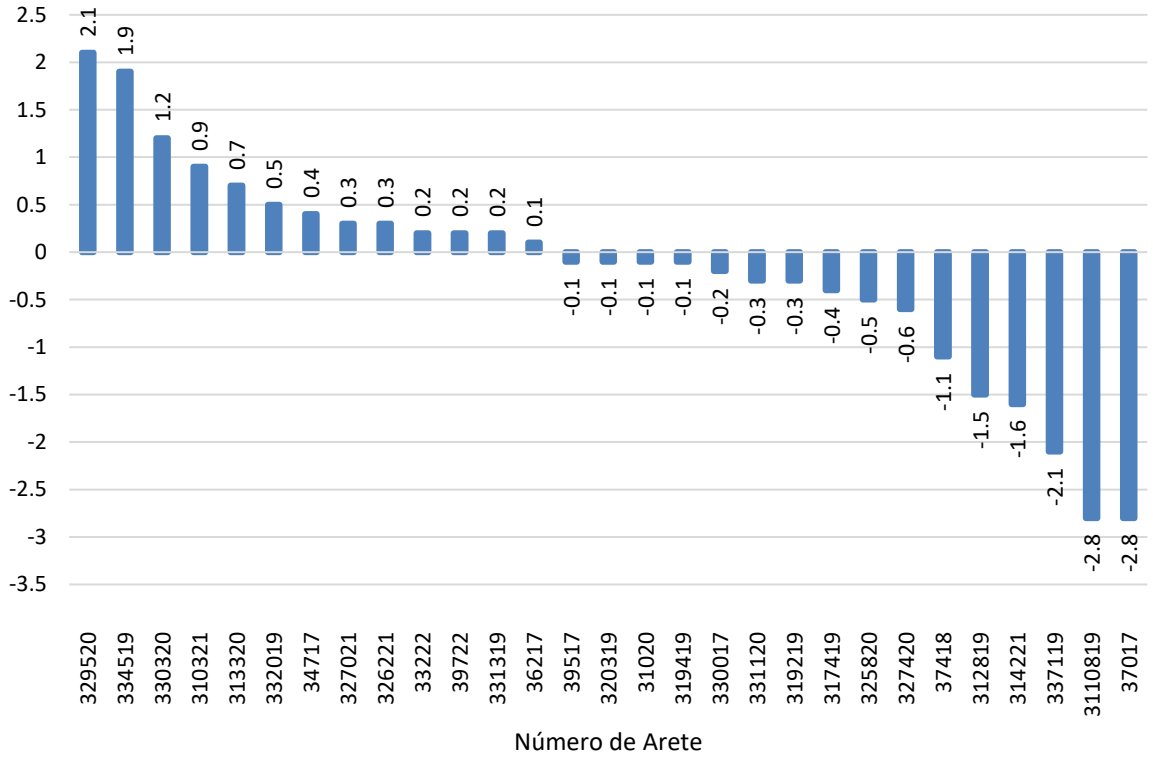
Índice que involucra tres rasgos reproductivos, los cuales son tasa de concepción de las vaquillonas, tasa de concepción de la vaca y tasa de preñez de la hija. En la Figura 9 se muestran las vacas con valores más altos en el índice de Fertilidad, donde un 44.8% de toda la población presentan valores positivos. Esto indica que las hijas de esta vaca tienen la capacidad de concebir tanto como vaquillas y siendo vacas en periodo de lactancia, mantener una preñez, mostrar signos de celo e iniciar un nuevo ciclo estral, comparándolas con la media de la población. Así mismo, un 55.2% de la población presentan valores negativos, indicando que son menos fértiles en comparación con las demás vacas genotipadas.

Según la base de datos VAMMP, el individuo 329520 que presentó el mayor índice de Fertilidad, para su primera lactancia concibió en el primer servicio con un peso de 317.5 kg, siendo vaquilla menor a 24 meses y con una edad a primer parto de 22 meses. De esta manera, se queda fuera de lo estimado por Duplessis et al. (2015) donde menciona que la edad ideal para el primer parto en promedio son 27 meses, y para aumentar la rentabilidad del hato lo ideal es entre los 23 a 24,5. Además, de acuerdo con Copas et al. (2022) señala que las vacas que tienen su EPP antes de los 23 meses tienen menos días productivos, afectando su longevidad a lo largo de su vida.

Así mismo, para su segunda lactancia fue concebida a su tercer servicio. De acuerdo con Acosta y Rodríguez (2011) tres servicios por preñez se encuentran aceptables, pero influye en lo económico por más costos de personal, dosis de inseminación, días de pérdida reproductiva y productiva.

Figura 9

Valores genéticos del Índice de Fertilidad estimados para hembras de raza Holstein



Conteo de Células Somáticas (CCS) y Mastitis (Z_MAST)

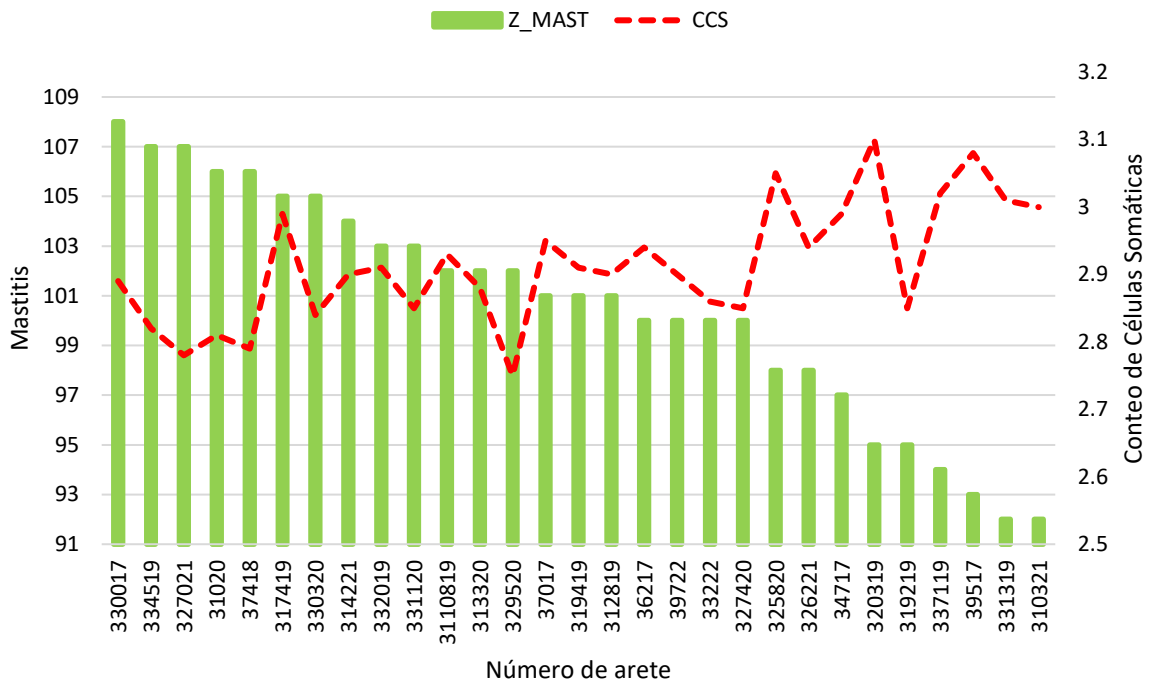
La mastitis es una infección bacteriana intramamaria causada por microorganismos como *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus* coagulasa positivo y *Mycoplasma* spp. Es una de las principales causas de pérdidas económicas en la producción lechera, representando aproximadamente el 26% del costo total asociado a enfermedades y puede llevar al descarte selectivo de los animales afectados (Pech et al., 2007).

El conteo de células somáticas (CCS) es un indicador clave de la salud de la glándula mamaria. Un aumento en el número de leucocitos en la leche señala la presencia de inflamación, lo cual es una respuesta a la infección bacteriana que puede causar deterioro del tejido, estrés y reducción en la producción de leche. Un CCS elevado tiene una influencia negativa en la calidad de la leche, la salud de la ubre y la incidencia de infecciones (Ruiz y Sandoval, 2018). Los valores de CCS menores a 200,000 células/mL se consideran fisiológicamente normales, indicando ausencia de inflamación, mientras que valores superiores a 300,000 células/mL generalmente sugieren la presencia de inflamación (Echeverri et al., 2010). Además, según la Holstein Association USA, Inc. (2007) la raza lechera Holstein es conocida por su capacidad para producir grandes volúmenes de leche y por tener bajos niveles de células somáticas.

Aunque existe una relación directa entre el conteo de células somáticas (CCS) y la mastitis, la gráfica no muestra una tendencia lineal clara en el CCS. Esto se debe a que el CCS predice la incidencia de mastitis de manera indirecta en cada animal. Por otro lado, el índice Z_MAST compara una vaca con respecto a las demás vacas genotipadas, proporcionando una evaluación relativa de su susceptibilidad a la mastitis.

Figura 10

Valores genéticos estimados para hembras de raza Holstein para el carácter de Mastitis (%) en relación con el Conteo de Células Somáticas (Log)



Sin embargo, la vaca con el número de arete 329520 presenta el valor más bajo de CCS, con 2.75 en una escala logarítmica. Este valor indica un menor número de células somáticas durante su lactancia. Aunque el valor de mastitis de esta vaca es de 102, y no es el más alto en comparación con otras vacas, sigue siendo un indicador positivo en relación con lo esperado, reflejando un menor riesgo de contraer infecciones.

Eficiencia de Alimentación Holstein (FE) y Alimento Ahorrado (FS)

La eficiencia alimenticia es un aspecto relevante para determinar el impacto económico en una explotación lechera, a través de la relación que existe entre la producción y la alimentación. Este índice involucra por valor dólar de producción de leche, costo de mantenimiento extra debido al tamaño del cuerpo y costo de alimentación de la producción de leche extra. De igual manera, la FE se

puede obtener a través del alimento ahorrado, carácter que indica la cantidad de libras esperadas de alimento por lactancia.

En la Figura 11 se puede observar los valores máximos y mínimos de eficiencia de alimentación en relación con el alimento ahorrado. Individuos con valores positivos indican mayor ahorro de alimento, por lo tanto, mayor eficiencia de alimentación, las cuales están por arriba del promedio esperado de las demás vacas genotipadas. Estas vacas tienen mayor capacidad de mantener su producción de leche o producir más con menos alimento en comparación de las demás vacas del grupo, así mismo, son más eficientes convirtiendo el alimento que consumen en producción de leche.

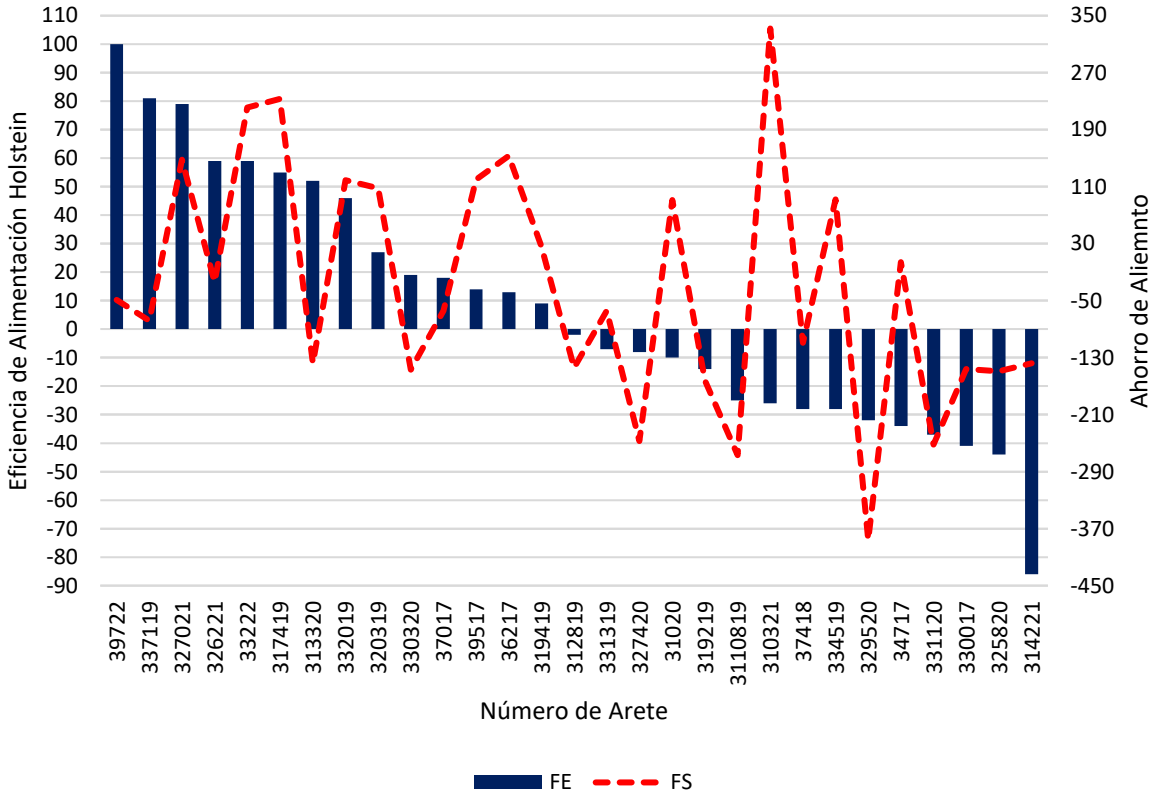
De la misma manera, vacas con valores negativos indican que estas están por debajo del promedio esperado, siendo de menos eficiencia alimentaria y presentan un menor ahorro de alimento, convirtiéndolas en vacas menos rentables para el hato.

El valor máximo de FE es la vaca con arete número 39722 con +100 puntos que representa -49 de FS. No existe una relación directa entre ambos parámetros, esto indica que puede ser eficiente en cuanto a FE, pero no ahorra mucho alimento. Los costos totales de alimentación de un hato lechero son alrededor de 52.17% (González, 2010). Además, según Richardson y Van (2021), seleccionar animales que consuman menos alimento pero que mantengan la misma productividad que los demás animales del hato es de suma importancia para permitir el éxito económico, teniendo una alta capacidad de aprovechar esta energía del alimento en producción de leche.

De la misma manera, muestra la vaca con arete número 310321, siendo una vaca que solo ha tenido una lactancia con FE de -26 y una FS de 332. Indica que, aunque consume menos alimento no lo utiliza eficientemente para la producción de leche. De acuerdo con Eadie (2019) una baja FE esta influenciada por el número de lactancias, debido a que, en su primera lactancia aún está creciendo y aprovecha la energía del alimento que consume en su desarrollo y crecimiento, y no en su totalidad a la producción de leche.

Figura 11

Valores genéticos estimados para hembras de raza Holstein para el carácter Eficiencia de Alimentación Holstein en relación con el Ahorro de Alimento



Conclusiones

La prueba a genómica Clarifide Plus® realizada en el hato lechero de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano ha permitido identificar animales con valores superiores en DWP$, MN$ y WT$, animales que son genéticamente potenciales en producción y mejoran rentabilidad a largo plazo.

Se identificaron vacas con valores superiores en Índice de Fertilidad (FI) que muestran una mayor capacidad reproductiva asegurando un flujo de vacas de reemplazo para el hato, lo que favorece a una producción estable y longeva.

Los índices CW$ y WT$ permitieron identificar animales con mejor bienestar, reduciendo susceptibilidad de enfermedades frecuentes en la producción y mejora la tasa de supervivencia.

A través del uso de toros A2 y la selección de vacas A2A2 permite aumentar la cantidad de vacas que producen leche A2, siendo un hato con productos más digeribles y beneficiosos para la salud.

Recomendaciones

Continuar con la implementación de programas de mejoramiento genético para obtener animales con potencial genéticamente superiores.

Realizar la investigación en todas las hembras de hato para determinar nuevas estrategias de selección.

Considerar todos los parámetros importantes (reproductivos, productivos, de salud y bienestar animal) para obtener un perfil integrado y facilitar la precisión de selección.

Referencias

Acosta, P. y Rodríguez, R. (2011). *Porcentaje de preñez en vacas lecheras sometidas a sincronización del celo y la aplicación de progesterona el día 13* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c989db7a-2eb4-4fae-b81c-cb4080b69add/content

Ángel, P., Cardona, H. y Cerón, M. (2013). Genómica en la producción animal. *Revista Colombiana En Ciencias Animales*, *5(2)*. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4733109.pdf

Arroyo, L. (2017). Medicina de animales de remplazo: Programas de prevención de la neumonía y la diarrea de los terneros con énfasis en los programas de vacunación. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias*.

Bauman, D. E. y Griinari, J. M. (2003). Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition*, *23*, 203–227. https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.23.011702.073408

Bertot, J., Mendoza, I., Horrach, M., Vázquez, R., Garay, M., Soto, S. y Avilés, R. (2019). Patrón estacional de los nacimientos en ganado lechero durante el período 1982-2017 en Camagüey, Cuba. *Producción Animal*, *31*(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202019000300010

Calero, G., Jiménez, S., Almeida, F., Maldonado, D. y Toalombo, P. (2022). Parámetros productivos y reproductivos del hato lechero Brown Swiss ubicada en un clima andino. *Polo Del Conocimiento*, *7*(5). https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9042695.pdf

Carvajal, A., De la Barra, R. y Uribe, H. (2012). Objetivos de la mejora genética en bovinos de leche. *Instituto De Investigación Agropecuarias*(88). https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/8bed916e-bf45-4720-8083-7cedb284e0d0/content

Carvajal, A. M. (2015, 7 de abril). Factores genéticos que influencian la composición de la leche bovina. *Engormix*. https://www.engormix.com/lecheria/calidad-leche/factores-geneticos-influencian-composicion_a31737/

Copas, K. A., Valladares, M., Baeza, J. J., Magaña, J. G. y Segura, J. C. (2022). Efecto de la edad al primer parto sobre la longevidad, el número de días en producción y la producción de leche durante la vida productiva de las vacas lecheras Holstein y Pardo Suizo en Honduras. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, *13*(1), 163–174. https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i1.5444

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2013). Factores de variación en la producción de leche de vaca. *Insumos Y Factores Asociados a La Producción Agropecuaria*(14). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_agosto_2013.pdf

Duplessis, M., Cue, R. I., Santschi, D. E., Lefebvre, D. M. y Lacroix, R. (2015). Weight, height, and relative-reliability indicators as a management tool for reducing age at first breeding and calving of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, *98*(3), 2063–2073. https://doi.org/10.3168/jds.2014-8279

Eadie, T. (2019, 29 de enero). Feed efficiency in lactating cows and relationship to income over feed costs. *Dairy Producer*. https://www.dairyproducer.com/feed-efficiency-in-lactating-cows-and-relationship-to-income-over-feed-costs/

Echeverri, J., Jaramillo, M. y Restrepo, F. (2010). Evaluación comparativa de dos metodologías de diagnóstico de mastitis en un hato lechero del Departamento de Antioquia *Lasallista De Investigación*, *7*(1), 1794–4449. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492010000100007

Fernández, A. (2019). *Factores que influyen sobre la eficiencia de conversión (alimento en leche) y en la composición de la leche*. https://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/factores_que_influyen_la_conversi__n_de_un_alimento_en_leche_ec.pdf

Fernández, E., Martínez, J., Martínez, V., Moreno, J., Collado, L., Hernández, M. y Morán, F. (2015). Documento de Consenso: importancia nutricional y metabólica de la leche. *Nutrición Hospitalaria*, *31*(1), 92–101. https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v31n1/09revision09.pdf

Fessenden, B., Weigel, D. J., Osterstock, J., Galligan, D. T. y Di Croce, F. (2020). Validation of genomic predictions for a lifetime merit selection index for the US dairy industry. *Journal of Dairy Science*, *103*(11), 10414–10428. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18502

García, C., Montiel, R. L. A. y Borderas, T. F. (2014). Grasa y proteína de la leche de vaca: componentes, síntesis y modificación. *Archivos de zootecnia*, *63*(0), 85–105. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5959666

Garzón, C. y Vallejo, D. (2008). *Factores asociados a las principales enfermedades en terneras durante los primeros tres meses de vida en los sistemas de producción lechera en el municipio de pasto* [Trabajo de Grado]. Universidad de Nariño, Colombia. https://sired.udenar.edu.co/5665/1/75127.pdf

Gay, K. D., Widmar, N. J. O., Nennich, T. D., Schinckel, A. P., Cole, J. B. y Schutz, M. M. (2014). Development of a Lifetime Merit-based selection index for US dairy grazing systems. *Journal of Dairy Science*, *97*(7), 4568–4578. https://doi.org/10.3168/jds.2013-7474

González, J. (2010). *Situación actual, desafíos y oportunidades de la Lechería en Costa Rica*. http://proleche.com/recursos/documentos/congreso2010/6_Vision_de_la_Camara_Nacional_de_Productores_de_Leche_Lic_Jorge_Manuel_Gonzalez_E.pdf

Griinari, J. M., Nurmela, K., Corl, B. A., Lacy, S. H., Chouinard, P. Y. y Bauman, D. E. (2000). Conjugated Linoleic Acid Is Synthesized Endogenously in Lactating Dairy Cows by Δ9-Desaturase. *The Journal of Nutrition*, *130*(9), 2285–2291. https://doi.org/10.1093/jn/130.9.2285

Heins, B. (2019). *Breeding for A2 Milk*. https://wcroc.cfans.umn.edu/research/dairy/a2-milk

Holstein Association USA y Inc. (2017). *Updates to Holstein USA TPI and Composite Indexes*. https://www.holsteinusa.com/pdf/Upcoming_Changes_aug17.pdf

Holstein Association USA, Inc. (2007). *Honlstein registrados de EE.UU. para máxima rentabilidad*. https://www.holsteinusa.com/pdf/print_material/USReg%20_Holstein_span.pdf

Jiménez, L., Alfonso, L., Mendizabal, J. A. y Urrutia, O. (2022). Worldwide Research Trends on Milk Containing Only A2 β-Casein: A Bibliometric Study. *Animals*, *12*(15), 1909. https://doi.org/10.3390/ani12151909

Meyer, C. (2018). *Leche A2A2 ¿Moda o futuro genético?*

Navarro, H. (2006). *Óptimo biológico productivo versus óptimo económico de los sistemas de producción de leche*. https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/59467afb-81c8-411a-bf3a-2550fbd23862/content

Organización Mundial de Sanidad Animal. (2017). *Estrategia mundial de bienestar animal*. https://web.oie.int/downld/SG/2017/E_85SG_14.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fweb.oie.int%2Fdownld%2FSG%2F2017%2FE_85SG_14.pdf%0AVisible%3A%200%25%20

Overton, M. W. y Dhuyvetter, K. C. (2017). Economic considerations regarding the raising of dairy replacement heifers. En D. K. Beede y S. P. Washburn (Eds.), *Large dairy herd management* (pp. 457–474). American Dairy Science Association. https://doi.org/10.3168/ldhm.0634

Pacheco, S. (2022). *Triglicéridos de la grasa láctea: Factores determinantes en su composición y estructura - ACTA*. https://portal.acta.org.co/trigliceridos-de-la-grasa-lactea-factores-determinantes-en-su-composicion-y-estructura/

Padilla, J. y Zambrano, J. C. (2021). Estructura, propiedades y genética de las caseínas de la leche: una revisión. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, *16*(3), 62–95. https://doi.org/10.21615/cesmvz.5231

Pech, V., Carvajal, M. y Montes, R. (2007). *Impacto económico de la mastitis subclínica en hatos bovinos de doble propósito de la zona centro del estado de Yucatán* (7) [Tesis]. Universidad Autónoma de Yucatán, México. https://www.redalyc.org/pdf/939/93970207.pdf

Peralta, E., Suárez, A., Peón, N. y San Miguel, J. (2019). La selección genómica. *Vaca Pinta*(14). https://vacapinta.com/media/files/fichero/vp014_geneticayreproduccion_seleciongenomica.pdf

Prieto, M. (2021). ¿Mérito neto, TPI o ICO? ¿Quizás mejor un índice customizado? *Vaca Pinta*(28). https://vacapinta.com/media/files/fichero/vp028_164pp_castelanlr-84-95.pdf

Ramakrishnan, M., Eaton, T. K., Sermet, O. M. y Savaiano, D. A. (2020). Milk Containing A2 β-Casein ONLY, as a Single Meal, Causes Fewer Symptoms of Lactose Intolerance than Milk Containing A1 and A2 β-Caseins in Subjects with Lactose Maldigestion and Intolerance: A Randomized, Double-Blind, Crossover Trial. *Nutrients*, *12*(12). https://doi.org/10.3390/nu12123855

Reyes, N. y Vásquez, O. (2012). Proyecto de establecimiento de un hato lechero en Villanueva, Cortés. *Innovare*, *1*(1). https://www.unitec.edu/innovare/published/volume-1/number-1/114-proyecto-de-establecimiento-de-un-hato-lechero-en-villanueva-cortes.pdf

Richardson, C. y Van, B. (2021). *Introducing Feed Efficiency*. https://lactanet.ca/en/introducing-feed-efficiency/?print=enabled&id=54658

Ruiz, L. y Sandoval, R. (2018). Diagnóstico de mastitis subclínica de vacunos lecheros mediante el conteo de células somáticas empleando dos métodos diagnósticos. *Revista Científica*, *XXVlll*(2), 129–135. https://www.redalyc.org/journal/959/95955158006/html/

Sánchez, J. (2016). Reproductores para un hato más saludable. *Genetica Selecta*. https://www.geneticaselecta.com/docs/Wellness%20Pro,%20Reproductores%20para%20un%20hato%20mas%20saludable.pdf

Sánchez, R. y Sepúlveda, D. (2021). *Proteínas y péptidos lácteos* [Tesis]. 1Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia y Ecología, México. https://consorciolechero.cl/libro-capitulo/LNS_SI_C2_Prote%C3%ADna.pdf

Secretaría de Agricultura y Ganadería. (2007). *Principales razas bovinas de leche y carne en Honduras*. https://dicta.gob.hn/files/2007,-Principales-razas-ganado-bovino,-F.pdf

Uribe, H. y Mujica, F. (2003). Genética y producción de leche. *Tierra Adentro*, 19–21. https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6052/NR30504.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Producci%C3%B3n%20de%20leche%20%3D%20gen%C3%A9tica%20%2B%20ambiente,de%20una%20generaci%C3%B3n%20a%20otra.

Vargas, D., Murillo, J., Hueckmann, F. y Romero, J. (2020, 15 de septiembre). Valores de la relación grasa/proteína y nitrógeno ureico en leche de vacas lecheras de la zona norte de Alajuela y Heredia, Costa Rica. *Engormix*. https://www.engormix.com/lecheria/calidad-leche/valores-relacion-grasa-proteina_a45886/

Vergara, E. y Truffer, R. (2004). Selección genética en bovinos ¿Porqué en Breedplan? *Producción Animal*. https://www.produccion-animal.com.ar/genetica_seleccion_cruzamientos/deps/52-breedplan.pdf

Zhang, H., Wang, K., An, T., Zhu, L., Chang, Y., Lou, W., Liu, L., Guo, G., Liu, A., Su, G., Brito, L. F. y Wang, Y. (2022). Genetic parameters for dairy calf and replacement heifer wellness traits and their association with cow longevity and health indicators in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, *105*(8), 6749–6759. https://doi.org/10.3168/jds.2021-21450