



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL ÍNDICE DE SELECCIÓN
DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO
SOSTENIBLE DE BOVINOS DE LECHE EN PUJILÍ (SAN
ISIDRO- COCHALOMA- CRUZPAMBA)**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Médico
Veterinario

Autor:

Logroño Anchatipán Jhonatan Butger

Tutora:

Bejarano Rivera Cristina Isabel

LATACUNGA – ECUADOR Julio 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Logroño Anchatipán Jhonatan Butger, con cédula de ciudadanía No. 0504163940, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **“ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL ÍNDICE DE SELECCIÓN DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO SOSTENIBLE DE BOVINOS DE LECHE EN PUJILÍ (SAN ISIDRO- COCHALOMA-CRUZPAMBA)”**, siendo la MVZ. Bejarano Rivera Cristina Isabel, Mg, Tutora del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 21 de julio del 2025

Jhonatan Butger Logroño Anchatipán
C.C: 0504163940
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **LOGROÑO ANCHATIPÁN JHONATAN BUTGER**, identificado con cédula de ciudadanía **0504163940** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Medicina Veterinaria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL ÍNDICE DE SELECCIÓN DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO SOSTENIBLE DE BOVINOS DE LECHE EN PUJILÍ (SAN ISIDRO- COCHALOMA- CRUZPAMBA)**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan: **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Abril 2021 – Agosto 2021

Finalización de la carrera: Abril 2025 – Agosto 2025

Tutora: MVZ. Cristina Isabel Bejarano Rivera, Mg.

Tema: “**ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL ÍNDICE DE SELECCIÓN DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO SOSTENIBLE DE BOVINOS DE LECHE EN PUJILÍ (SAN ISIDRO- COCHALOMA- CRUZPAMBA)**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 21 días del mes de julio del 2025.

Jhonatan Butger Logroño Anchatipán
EL CEDENTE


Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutora del Proyecto de Investigación sobre el título:

“ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL ÍNDICE DE SELECCIÓN DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO SOSTENIBLE DE BOVINOS DE LECHE EN PUJILÍ (SAN ISIDRO- COCHALOMA- CRUZPAMBA)”, de Logroño Anchatipán Jhonatan Butger, de la carrera de Medicina Veterinaria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 21 de julio del 2025

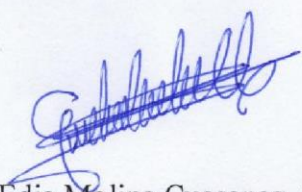

MVZ. Bejarano Rivera Cristina Isabel, Mg.
C.C: 1802458651
DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

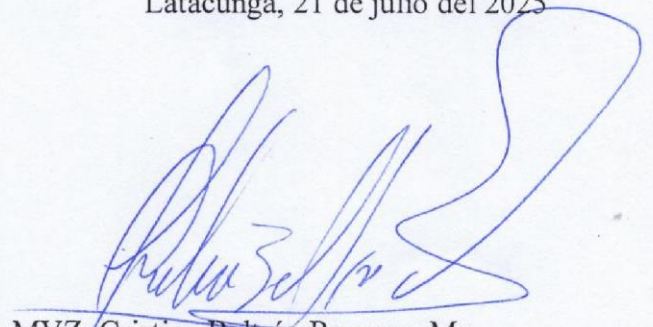
En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Logroño Anchatipán Jhonatan Butger, con el título del Proyecto de Investigación: “ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL ÍNDICE DE SELECCIÓN DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO SOSTENIBLE DE BOVINOS DE LECHE EN PUJILÍ (SAN ISIDRO- COCHALOMA- CRUZPAMBA)”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 21 de julio del 2025



MVZ. Edie Molina Cuasapaz, Mtr.
C.C: 1722547278
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



MVZ. Cristian Beltrán Romero, Mg.
C.C: 0501942940
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Dr. Jorge Armas Cajas, Mg.
C.C: 0501556450
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco con todo mi corazón a mi madre Wilma Anchatipán, por ser el mejor ejemplo de esfuerzo, sacrificio y amor incondicional. Su apoyo inquebrantable, sus consejos y su fe en mi ha sido la fuerza que me impulso a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mi hermano Alex Paredes, gracias por estar siempre pendiente de nosotros, por tu apoyo silencioso pero constante, y por impulsarme a seguir adelante en todo lo que me proponga.

A mi prima Lis Herrera, quien ha sido como una hermana para mí, gracias por estar presente en cada etapa de mi vida, por tu compañía, tu cariño y aliento.

A mi querida abuelita Luci, gracias por su apoyo, comprensión y amor incondicional

A mi enamorada Belén, gracias por tu compañía, por creer en mí, por tu amor y apoyo constante. Tu presencia ha sido un impulso emocional y personal muy importante para alcanzar esta meta.

A toda mi familia, les agradezco profundamente por su apoyo, sus palabras de aliento y por ser parte de este camino de formación.

Finalmente, a mis amigos, gracias por el compañerismo, las experiencias compartidas y el apoyo en cada paso de este proceso académico y personal.

Jhonatan Butger Logroño Anchatipán

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis, con profundo respeto y gratitud, a mi madre Wilma Anchatipán, cuya fortaleza, entrega y amor incondicional han sido fundamentales en cada etapa de mi formación personal y profesional. Su ejemplo de perseverancia y compromiso ha sido una fuente constante de inspiración.

De igual manera, a mi hermano Alex, por su apoyo incondicional, compañía y confianza depositada en mí. Su presencia ha sido un respaldo valioso en los momentos decisivos de este camino académico.

A ambos, mi reconocimiento eterno por ser parte esencial de este logro.

Jhonatan Butger Logroño Anchatipán

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL ÍNDICE DE SELECCIÓN DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO SOSTENIBLE DE BOVINOS DE LECHE EN PUJILÍ (SAN ISIDRO- COCHALOMA- CRUZPAMBA)”.

Autor:

Logroño Anchatipán Jhonatan Butger

RESUMEN

La investigación analizó la rentabilidad del índice de selección del programa de mejoramiento genético sostenible de bovinos lecheros en los sectores San Isidro, Cochaloma y Cruzpamba pertenecientes al cantón Pujilí. Se determinó el valor genético (EBV) de fenotipos clave tales como: la ganancia diaria de peso (GDP), lactancia ajustada a los 305 días y la densidad de la leche, en 70 bovinos de diferentes categorías, en 9 productores mediano y pequeña escala, utilizando el método del BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*). Además, se estimaron los pesos económicos de estos caracteres y se simuló tres escenarios económicos (bajo, medio y alto costo) para evaluar su rentabilidad. Los resultados mostraron una amplia variabilidad genética, identificando animales con alto valor genético como la vaca “Lola” (EBV GDP: 199,89 g/día), “Mocha” (EBV lactancia: 738,42 L) y “Quiteña” (EBV densidad: 0,83 g/cm³). La simulación económica reveló que el programa es rentable en todos los escenarios con retornos de inversión (ROI) ENTRE 1,780% y 1,966%. El costo promedio de producción fue de \$0,41 por litro, con un beneficio mensual promedio de \$47,17 por productor. Se concluye que la implementación del programa de mejoramiento genético basado en índices de selección que prioricen GDP, lactancia y densidad es económicamente viable, recomendándose fortalecer los registros productivos, realizar selección temprana y adaptar la inversión a la capacidad de cada productor para maximizar la rentabilidad.

Palabras clave: Mejoramiento genético, valor genético, BLUP, rentabilidad.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “PROFITABILITY ANALYSIS OF THE SELECTION INDEX IN THE SUSTAINABLE GENETIC IMPROVEMENT PROGRAM FOR DAIRY CATTLE AT PUJILÍ (SAN ISIDRO-COCHALOMA-CRUZPAMBA)”

Author:

Logroño Anchatipan Jhontan Butger

ABSTRACT

This study analyzed the selection index profitability in a sustainable genetic improvement program for dairy cattle in the San Isidro, Cochaloma, and Cruzpamba sectors (Pujilí, Cotopaxi, Ecuador). The breeding value (EBV) for key phenotypes, daily weight gain – (DGW), 305-day adjusted lactation, and milk density was determined in 70 cattle from 9 farms using the BLUP method. Additionally, the economic weights of these traits were estimated, and three economic scenarios (low, medium, and high cost) were simulated to assess profitability. Results showed broad genetic variability, identifying animals with high genetic merit such as the "Lola" cow (DGW EBV: 199.89 g/day), "Mocha" (lactation EBV: 738.42 L), and "Quiteña" (density EBV: 0.83 g/cm³). Economic simulation revealed that the program is profitable in all scenarios, with returns on investment (ROI) ranging from 1780% to 1966%. The average production cost was \$0.41 per liter, with an average monthly profit of \$47.17 per producer. It is concluded that implementing the genetic improvement program based on selection indices prioritizing DGW, lactation, and density is economically viable. Strengthening production records, implementing early selection, and adapting investment to each producer's capacity are recommended to maximize profitability.

Keywords: Genetic improvement, genetic value, BLUP, profitability

INDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	vi	
AGRADECIMIENTO	vii	
DEDICATORIA.....	viii	
RESUMEN	ix	
ABSTRACT	x	
INDICE DE CONTENIDOS	xi	
INDICE DE TABLAS		xiv
INDICE DE FIGURAS.....	xv	
1. INFORMACIÓN GENERAL	1	
2. JUSTIFICACIÓN	2	
3. BENEFICIARIOS	2	
3.1 Directos:	2	
3.2 Indirectos	3	
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3	
5. OBJETIVOS	4	
5.1 Objetivo general:	4	
5.2 Objetivos específicos:	4	
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS	4	
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA	6	
7.1 Introducción al mejoramiento genético	6	
7.2 Índice de Selección Genética	6	
7.2.1 Genotipo	7	
7.2.2 Fenotipo	7	
7.2.3 Medio Ambiente	7	
7.2.4 Heredabilidad	7	
7.2.5 Correlaciones genéticas	8	
7.2.6 Índice de mérito total	8	
7.2.7 Valor Genético	9	
7.3 Análisis a la respuesta a la selección	9	
7.4 Pesos económicos	10	
7.4.1 Escenarios económicos	11	
7.5 Elementos fundamentales para la mejora genética	11	
7.5.1 Producción de la leche	11	
7.5.2 Calidad de la leche	12	
7.5.3 Densidad	12	
7.5.4 Lactancia a 305 días	12	

7.5.5	Fertilidad y reproducción	13
7.5.6	Longevidad	13
7.5.7	Ganancia diaria de peso	13
7.5.8	Salud y resistencia a enfermedades.....	14
7.6	Ganadería en Ecuador	14
7.7	Producción de leche en Ecuador	15
7.7.1	Producción de leche en la provincia de Cotopaxi	15
7.7.2	Producción de leche en el cantón Pujilí	15
8.	VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS	16
8.2.	Hipótesis 0	16
9.	METODOLOGÍA	16
9.1	Área de investigación:	16
9.2	Población de estudio.....	17
9.3	Enfoque de estudio	18
9.4	Tipo de estudio:	18
9.5	Recopilación de datos:	18
9.6	Valor genético	18
9.7	Ganancia diaria de peso.....	19
9.8	Costos de producción	19
9.9	Calidad de la Leche	19
9.10	Selección de reproductoras.....	20
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	20
10.1	Población de bovinos	20
10.2	Estado reproductivo.....	21
10.3	Estado de salud animal	22
10.4	Fenotipo de la ganancia diaria de peso.....	23
10.5	Proyección del valor estimado de cría para la ganancia diaria de peso	24
10.6	Fenotipo para la lactancia 305 días	26
10.7	Proyección del valor estimado de cría para la lactancia 305 días	27
10.8	Fenotipo para la densidad de la leche.....	29
10.9	Proyección del valor de estima de cría para la densidad de la leche	30
10.10	Costos de producción y beneficios del productor	31
10.11	Escenarios económicos de rentabilidad y costos asociados al mejoramiento genético	34
11.	IMPACTOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	35
11.1	Impacto Social	35

11.2	Impacto Ambiental	35
11.3	Impacto Económico.....	36
12.	CONCLUSIONES	36
13.	RECOMENDACIONES	37
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	38
INDICE DE TABLAS		x
Tabla 1	Actividades y sistemas de tereas con relación a los objetivos.....	4
Tabla 2	Productores de leche de las comunidades del cantón Pujilí	17
Tabla 3	Categorización de bovinos.....	20
Tabla 4	Mejores animales respecto a la respuesta a la selección en GDP	25
Tabla 5	Mejores animales respecto a la respuesta a la selección en Lactancia 305 días.....	27
Tabla 6	Mejores animales respecto a la respuesta a la selección en Densidad de la leche.....	30
Tabla 7	Costos de producción de la leche.....	31

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación geografía de las Comunidades	16
Figura 2	Estado de gestación	21
Figura 3	Estado de salud	22
Figura 4	Fenotipo de la ganancia diaria de peso	23
Figura 5	Estimated Breeding Value para la GDP	25
Figura 6	Fenotipo de la lactancia a los 305 días	26
Figura 7	Estimated Breeding Value de la lactancia 305 días	28
Figura 8	Fenotipo para la densidad de la leche	29
Figura 9	Estimated Breeding Value de la densidad de la leche	30

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto: “Análisis de rentabilidad del índice de selección del programa de mejoramiento genético sostenible de bovinos de leche en Pujilí (San Isidro- Cochaloma-Cruzpamba)”

Fecha de inicio: septiembre 2024 **Fecha de finalización:** julio 2025 **Lugar de ejecución:** Pujilí – Cotopaxi

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

Carrera que auspicia: Medicina Veterinaria

Proyecto de investigación vinculado: Implementación del programa de mejoramiento genético sostenible de bovinos de leche en la provincia de Cotopaxi.

Equipo de Trabajo:

Estudiantes: Logroño Anchatipán Jhonatan Butger (Anexo 1) **Tutor/a:**

MVZ. Bejarano Rivera Cristina Isabel, Mg. (Anexo 2)

Área de Conocimiento: Agricultura,

Subárea Veterinaria **Línea de**

investigación:

Análisis, conservación y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna y recursos naturales para el desarrollo sustentable y la prevención de desastres naturales **Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Biodiversidad, mejora y conservación de recursos zoogenéticos.

2. JUSTIFICACIÓN

En Ecuador, el sector lechero es una de las actividades económicas más relevantes del país, generando un Valor Agregado Bruto de \$238,07 millones de dólares al año, lo que representa el 0,34% del Producto Interno Bruto (PIB) total del país (1). En 2021, se registró una producción anual de 5.699.046 litros de leche diarios a nivel nacional. Donde la provincia de Cotopaxi aportó el 11% de esta producción, con un rendimiento promedio de 8,5 litros por vaca ordeñada. Sin embargo, durante ese mismo año, existió una disminución del 7% de la producción lechera nacional (2).

Bajo este mismo contexto, la evaluación de la rentabilidad del índice de selección de animales es fundamental para las comunidades del cantón Pujilí, ya que existe una gran diferencia en la productiva lechera entre los productores locales y los sistemas referenciales (3). Mientras que los productores locales obtienen aproximadamente 8,2 litros por vaca al día, los sistemas referenciales registran hasta 15, 3 litros por vaca al día. Esta diferencia del 37% evidencia la necesidad de implementar estrategias de mejoramiento genético orientadas a incrementar la eficiencia productiva y la rentabilidad de los sistemas lecheros en estas comunidades (4).

Actualmente, la selección de animales destinados a la reproducción se basa en características fenotípicas, pruebas de progenie y evaluaciones genómicas. No obstante, en Ecuador, la ausencia de estos factores de evaluación, limita la capacidad de evaluar con precisión el potencial genético de los animales. Frente a estas limitaciones, es indispensable analizar la rentabilidad de los índices de selección disponibles, con el fin de orientar el mejoramiento genético hacia características que generen un impacto directo en los ingresos netos de los productores (5).

Ante esta situación, implementar programas de mejoramiento genético en el cantón Pujilí, permitirá seleccionar animales con mejores características productivas, lo que contribuirá a incrementar la producción lechera, reducir costos asociados a enfermedades y, en consecuencia, mejorar la rentabilidad del sector.

3. BENEFICIARIOS

3.1 Directos:

- Ganaderos asociados al programa de mejoramiento genético sostenible de bovinos (UTCgen) del cantón Pujilí – La Matriz.
- Agrupaciones y cooperativas ganaderas de la localidad.
- Ganaderos de mediana y pequeña escala de las parroquias del cantón Pujilí.

3.2 Indirectos:

- Ganaderos productores de leche de bovinos del canton Pujilí sectores de la San Isidro, Cochaloma y Cruzpamba.
- Investigadores principales del proyecto, requisito previo a la obtención del título de médico veterinario
- Universidades y centros de investigación orientados a la producción animal lechera. - Empresas e instalaciones lácteas dedicadas al procesamiento de productos derivados de la leche.
- Consumidores, quienes accederán a productos lácteos de mayor calidad.
- Entidades gubernamentales y organismos que promueven el desarrollo rural.
- Compañías de insumos agropecuarios y servicios veterinarios.

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

América Latina contribuye con el 12% de producción de leche a nivel mundial, participando con el 7% de las exportaciones y el 13% de importaciones globales de productos lácteos(5). Este sector es fundamental para la economía regional, ya que ha generado empleos para más de cuatro millones de personas (6). Sin embargo, mucho de los países enfrentan diversas problemáticas que afectan directamente a la rentabilidad de los productores, entre ellas baja eficiencia productiva, baja fertilidad de los animales, efectos del cambio climático, falta de implementación de buenas prácticas pecuarias y la alta vulnerabilidad frente fluctuaciones de los mercados internaciones, entre otros desafíos.

En Ecuador la producción lechera en promedio es de apenas 5 litros por hectárea al día, una cifra considerablemente baja en comparación con otros países como Colombia y Nueva Zelanda (7). Una de las principales problemáticas radica en la falta de criterios económicos adecuados en la selección de reproductores, ya que no se considera la interacción genotipo-ambiente. Como resultado, muchos de los animales no logran expresar su potencial genético lo que resulta en una productividad reducida.

En los sectores como San Isidro, Cochaloma, Cruzpamba del cantón Pujili, se ha evidenciado que solo el 32% de los predios cuentan con sistemas de riego tecnificado. Esta limitación reduce la producción de forrajes, lo que ha provocado una caída del 28% del rendimiento lácteo y un aumento del 35% en los costos de producción (8).

Durante las sequías muchos animales reducen su fertilidad al 22% (9) y no logran expresar su potencial productivo, lo que eleva los costos de producción a USD 0,41 por litros, un 37% por

encima del promedio nacional. Esta situación se ve agravada por la falta de conocimiento por parte de los productores sobre mejoramiento genético(10). Además, la ausencia de estudios integrales que analicen de manera conjunta soluciones hídricas y genéticas perpetua la crisis, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria local con una disminución del 30% en la disponibilidad de la leche disponible.

Ante este contexto, el proyecto de mejoramiento genético de la Universidad Técnica de Cotopaxi, tiene como objetivo realizar un análisis detallado de la rentabilidad de la selección genética en el sector lechero, evaluando los costos iniciales de implementación frente a los beneficios proyectados a mediano y largo plazo. Este enfoque busca evidenciar que, aunque las estrategias de mejoramiento genético requieren inversiones iniciales, poseen un alto potencial para aumentar la eficiencia productiva, mejorar la relación costo-beneficio y fortalecer la competitividad de los sectores del cantón Pujilí.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general:

Analizar la rentabilidad del índice de selección del programa de mejoramiento genético sostenible de bovinos de leche en los sectores San Isidro, Cochaloma y Cruzpamba.

5.2 Objetivos específicos:

- Determinar el valor genético de los fenotipos seleccionados dentro de cada sector de estudio.
- Estimar el peso económico del índice de selección de los fenotipos del programa de mejoramiento genético en los sectores San Isidro, Cochaloma y Cruzpamba.
- Simular mediante escenarios económicos la respuesta a la selección del programa de mejoramiento genético.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS

Tabla 1 Actividades y sistemas de tareas con relación a los objetivos

Resultado	Descripción de la
------------------	--------------------------

Objetivo 1 Actividad de la actividad (técnicas e actividad instrumentos)

Determinar el valor genético de los fenotipos seleccionados dentro de cada parroquia.	Levantamiento de información fenotípica (pesaje individual, medición de la alzada, análisis de leche)	Registro de la información en Excel.	Registro de la información en Excel. Cinta Bovinométrica. Lactodensímetro. Cinta métrica (Altura a la cruz).
	Digitalización de datos en fichas de Excel.		

Objetivo 2

Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
------------------	----------------------------------	--

Estimar el peso económico del índice de selección de los fenotipos del programa de mejoramiento genético de cada parroquia.	Tabulación de datos obtenidos. Procesamiento de la información utilizando el método de BLUP. Selección del 5% de los bovinos incluidos en la investigación. Evaluación detallada de la población bovina seleccionada.	Organización de los resultados estadísticos en tablas. Interpretación de la información obtenida.	Evaluación de los resultados mediante el método de BLUP. Aplicación de técnicas de análisis económico. Interpretación de los gráficos generados de la investigación.
---	--	--	--

Objetivo 3

Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
------------------	----------------------------------	--

Simular mediante Construcción Promedio Evaluación de los escenarios económicos
 la de escenarios de costos. costos. respuesta a la selección económicos.
 del programa de
 mejoramiento genético. Determinación
 para la de criterios
 selección de
 los bovinos.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

7.1 Introducción al mejoramiento genético

La producción ganadera, en particular la lechera, se ha consolidado como una de las actividades agrícolas de mayor crecimiento a nivel mundial. A lo largo de los años, han tenido lugar importantes transformaciones en los métodos de producción, las cuales han generado beneficios significativos para los productores. Uno de los principales factores que ha impulsado este crecimiento y transformación es el mejoramiento genético. Este proceso ha permitido incrementar la calidad y productividad de los animales, lo que a su vez ha generado mayores beneficios para los productores. El mejoramiento genético consiste en aumentar la capacidad hereditaria de individuos y la población de animales. Las características claves de este proceso es la transmisión de generación en generación. Las mejoras logradas en el acervo genético (genotipo) de un individuo no se pierden, sino que se heredan por la descendencia, se conserva y pueden seguir mejorándose en la siguiente generación. Esta capacidad de acumular el progreso genético de forma permanente a lo largo del tiempo constituye la principal ventaja del mejoramiento genético (11).

En la ganadería lechera, el mejoramiento genético tiene como meta modificar la proporción de ciertos genes. Permite que, bajo las condiciones ambientales específicas de la explotación (clima, alimentación, manejo), los rasgos deseables se expresen maximizando la rentabilidad (12).

7.2 Índice de Selección Genética

El índice de selección genética es una herramienta que permite evaluar y seleccionar bovinos en función de sus características productivas y reproductivas. Este índice toma en cuenta diversos parámetros, tales como el genotipo, fenotipo, heredabilidad, producción y calidad de la leche, ganancia diaria de peso, entre otros factores. La variación genética se debe conocer la magnitud y la proporción de la variación esto se debe a factores genéticos nos ayuda a una

mejor selección, precisa de los animales y una mejora en el objetivo específico de la producción animal (13).

7.2.1 Genotipo

Constitución genética de un individuo, se relaciona por lo general a determinados alelos que pueden ser homocigotos o heterocigotos para un rasgo (14). Es crucial seleccionar cuidadosamente los genotipos adecuados. Al optar por genotipos que posean genes beneficiosos en la producción bovina (leche y carne) de una buena calidad, se pretende optimizar en la descendencia características deseables y generar mejoras en la calidad y productividad del ganado (15).

7.2.2 Fenotipo

Algunos rasgos fenotípicos están controlados por un número reducido de pares génicos y se los conocen como características cuantitativas. Esto permite agrupar animales en diferentes categorías bien definidas, y su expresión no está fuertemente influenciada por el entorno. En vacas lecheras, ejemplos típicos de este tipo de características incluyen el color del pelaje, la presencia o ausencia de cuernos, ciertas anomalías genéticas y antígenos sanguíneos (16). Cuando se observa una característica específica de un animal, como el peso al destete, se evalúa su fenotipo, el cual es la manifestación resultante de la interacción entre el genotipo (información genética heredada) y el ambiente en el que se desarrolla (incluyendo factores como manejo, alimentación y salud). Dicha interacción se define como la expresión del individuo, donde los genes marcan su potencia genética y el ambiente condiciona su desarrollo (17).

7.2.3 Medio Ambiente

Es el factor principal que afecta tanto directamente e indirectamente al ganado, por lo que cambia la calidad y/o cantidad de alimento disponible, las necesidades de agua y energía, la capacidad de energía consumida y el aprovechamiento de esta. Ante las condiciones adversas del medio ambiente los animales se enfrentan a modificación mediante los ajustes fisiológicos y conductuales conservar su temperatura corporal. Esto trae cambios en la ingesta de alimento, el comportamiento y, críticamente, la productividad, manifestándose en caídas severas de la ganancia de peso y la producción láctea (18). Es crucial adoptar prácticas de manejo sostenible que amparen tanto el bienestar animal como el entorno.

7.2.4 Heredabilidad

Representa el porcentaje de la variación total observada en un rasgo específico entre individuos que pueden atribuirse a diferencias genéticas, mientras que el resto de la variación se relaciona con factores ambientales. En términos generales, cuando mayor es la heredabilidad de una

característica, su precisión será mayor en la selección de individuos, por lo tanto, el potencial de lograr una mejora genética se da a través de dicha selección (13).

Las heredabilidades se pueden designar en tres niveles:

- Menos de 0,1: disminución en la heredabilidad y descenso en la posibilidad de ganancia genética por selección, lo que implica una limitada respuesta genética mediante la selección.
- De 0,1 a 0,3: moderada heredabilidad y moderada posibilidad de ganancia genética por medio de la selección, asociada con una ganancia genética intermedia.
- Más de 0,3: aceptada heredabilidad y máxima posibilidad de ganancia genética en base a la selección (19).

7.2.5 Correlaciones genéticas

Se la denomina a la correlación de los efectos fenotípicos de las variantes genéticas en el genoma sobre dos fenotipos. Es una métrica informativa para cuantificar la similitud genética general entre rasgos complejos, lo que proporciona información sobre su arquitectura genética poligénica (20).

Las correlaciones genéticas son fundamental ya que fortalece los programas de mejoramiento genético, haciéndolos más rentables y eficientes. Esto permite identificar las relaciones entre diferentes características, considerando estas relaciones como el cociente entre las respuestas a selecciones previamente definidas (21).

7.2.6 Índice de mérito total

La selección mediante el índice de selección es el método óptimo cuando el objetivo económico depende de múltiples características. El orden de los animales es según un puntaje que integra, con ponderaciones específicas, los rasgos a mejorar. Este índice suma los valores genéticos de cada rasgo multiplicado por su valor económico relativo, expresando el resultado en términos monetarios (22).

Además, los pesos económicos de cada característica se basan en índices de mérito total, pero también consideran factores como las preferencias de los productores y las condiciones del mercado. Esto asegura que la selección genética esté alineada con las necesidades específicas de cada contexto productivo, maximizando la eficiencia y sostenibilidad de los programas de mejoramiento (23).

La implementación del índice en programas de mejoramiento genético permite una selección más favorable y efectiva en el ganado, optimizando características de importancia económica y adaptándose a las particularidades de cada sistema de producción.

7.2.7 Valor Genético

El valor genético de un individuo se define como su mérito genético para uno o varias características de interés. Representa la suma de los efectos genéticos aditivos que puede transmitir a su descendencia. Al comparar la variación genética aditiva con la variación fenotípica total se determina la heredabilidad (24).

El valor genético se estima principalmente a partir de los registros fenotípicos del individuo. Sin embargo, cuando no existe estos datos, su valor genético se puede calcular utilizando la información de sus parientes como sus padres, hermanos o descendientes. En casos donde se dispone de los datos propios del animal como de los de sus familiares, ambas fuentes se combinan para obtener una estimación más precisa del valor genético (25).

7.3 Análisis a la respuesta a la selección

Es un concepto central en la genética cuantitativa, se define como el cambio genético esperado en la media de una población luego de una generación de selección (26). Este valor depende directamente de la heredabilidad del carácter, la intensidad de selección y la variabilidad fenotípica disponible en la población (27).

Su fórmula clásica es:

$$R = i \times h^2 \times \sigma_P$$

Donde:

R= respuesta a la selección

i= intensidad de la selección

h²= heredabilidad

σ_P= desviación fenotípica

En actividades de mejoramiento genético, en bovinos de leche, la respuesta a la selección es esencial para medir el progreso genético en caracteres económicos relevantes, como la producción de la leche, la GDP o en la calidad composicional. La implementación de herramientas como el modelo BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) permite estimar los valores genéticos estimados (EBV) con mayor precisión, mejorando así la predicción de la respuesta genética en futuras generaciones (28).

7.4 Pesos económicos

Los pesos económicos representan el aumento en la rentabilidad que se obtiene al aplicar programas de mejoramiento genético de una característica específica de un animal. Su cálculo se basa en la diferencia económica entre la situación actual del sistema productivo y una situación hipotética en la que dicho rasgo mejora en una unidad. Estos pesos son fundamentales para el diseño de índices de selección, ya que permita orientar el mejoramiento genético según los objetivos económicos del sistema de producción (29).

Existen tres métodos generales para la estimación de los pesos económicos en programas de mejoramiento genético.

a) Método contable (Accounting method): Define el valor económico de un rasgo como la diferencia entre ingresos adicionales generados y los costos incrementados.

$$v_i = r_i - c_i$$

Donde:

- V_i : Peso económico del rango i
- r_i : Ingreso adicional generado por una unidad de mejora en ese rango
- c_i : Costo adicional asociado a dicha mejora

b) Función de beneficio (Profit function): Calcula la rentabilidad del sistema de producción a través del diseño de una función que considera tanto los ingresos generados como los costos asociados. Se obtiene calculado la deriva parcial de esta función con respecto al rasgo en cuestión, evaluada en el nivel medio poblacional (30).

$$v_i: \frac{\partial \pi}{\partial x_i}$$

Donde:

- π : Función de beneficio total
- x_i : Nivel del rasgo i
- $\frac{\partial \pi}{\partial x_i}$: Sensibilidad del beneficio ante cambios en el rasgo i

c) Modelo bio-económicos: Permite simular el efecto de una mejora genética de un rasgo específico y, además calcular el valor económico de cada característica de interés, permitiendo una evaluación más completa del impacto de dichos rasgos en la rentabilidad del sistema productivo.

7.4.1 Escenarios económicos

Los escenarios económicos son modelos o simulaciones que representan distintas condiciones posibles en el futuro, integrando variables como los precios de mercados, costos de producción, condiciones productivas y ambientales, así como también indicadores macroeconómicos como el crecimiento del PIB, la inflación o las tasas de empleo. Estos escenarios permiten evaluar diferentes decisiones, como el manejo productivo o selección genética, que pueden influir en la rentabilidad del sistema (31).

La elaboración de escenarios económicos requiere seguir algunos pasos fundamentales para anticipar los posibles impactos socioeconómicos.

I. Identificación de variables: Se selecciona los factores más influyentes donde determinan el éxito o el fracaso del programa. Esto incluyen variables genéticas (fertilidad, producción láctea, persistencia a enfermedades, ect), y variables económicas (precio de la leche, costo de alimentación, insumos veterinarios etc) (32).

II. Análisis de tendencia y factores externos: Se examina cómo ha evolucionado dichas variables a lo largo del tiempo, identificando patrones, estacionalidades o eventos críticos.

III. Elaboración de proyecciones y presupuestos: Con los datos recopilados de las y el análisis de tendencia, se elaboran diferentes proyecciones económicas para distintos escenarios futuros del programa de mejoramiento genético. No se trata solo de estimaciones optimistas o pesimistas, sino de anticipar cómo respondería el sistema ante diferentes condiciones posibles. En esta etapa, se definen los escenarios económicos alternativos, los cuales ayudan para la toma de decisiones estratégicas (32).

7.5 Elementos fundamentales para la mejora genética

La identificación y selección de estos caracteres son esenciales para el éxito del mejoramiento genético, ya que permiten desarrollar organismos más adaptados a las necesidades humanas y a las condiciones ambientales.

7.5.1 Producción de la leche

En producción láctea, el espécimen de animal es una de las variables claves que define el éxito en la producción. Sin embargo, no solo basta con conocer las ventajas de determinadas razas. Lo importante, es conocer con que eficiencia se manifiestan esas ventajas superiores en nuestros medios, tanto en lo biológico como en lo económico (33).

Además, esta producción está influenciada por factores ambientales y genéticos, en donde el factor genético es el único que se puede transferir de padres a hijos, lo que resalta la

importancia de seleccionar cuidadosamente animales con un potencial genético superior adaptado a las condiciones locales (34).

7.5.2 Calidad de la leche

La calidad integral es fundamental, no necesariamente por su relevancia para la salud de la población, sino también por su impacto en la industria. Esta calidad está vinculada a factores como su composición general, contenido mineral, sabor, aroma, la presencia de contaminantes y sus propiedades en general. Para garantizarla, es esencial la colaboración de todos los sectores implicados en la producción, conservación, transporte, acumulación y transformación del producto. Esto implica partir de animales sanos y genéticamente aptos, brindarles una alimentación adecuada, garantizar buenas prácticas de manejo e higiene, así como prevenir y tratar enfermedades (35).

7.5.3 Densidad

La densidad de la leche es una propiedad físico – químico de la materia en la cual indica cuanta masa contiene un volumen determinado y depende principalmente de la composición de la leche, especialmente la leche contiene grasa, proteínas, lactosa y minerales. El valor normal varía entre 1,028 a 1,034 g/ cm³ (36). El método práctico y rápido para determinar la calidad de la leche cruda es el lactodensímetro, este instrumento mide la densidad y su resultado depende principalmente del contenido de sólidos totales y de la temperatura de medición (37). Para corregir la medida de la densidad de la leche debido a que los líquidos se expanden o contraen con el calor o el frío son mediante tablas de corrección o a su vez ecuaciones. La ecuación más utilizada es la siguiente:

$$DC: DO + [(T^{\circ} medida - 20) \times 0,0002] \text{ Donde:}$$

- DC: Es la densidad corregida
- DO: densidad observada
- T° medida: temperatura de la leche en °C
- 0,0002: factor de corrección (puede variar levemente según la calibración del lactodensímetro).

Formula corregida para densidad a 20°C (38).

7.5.4 Lactancia a 305 días

Este indicador estándar permite comparar la productividad de las vacas lecheras, mostrando la duración real de su lactancia. Dicho ajuste se realiza analizando factores de proyección basados en curvas de lactancia (39). La lactancia bovina en condiciones normales puede durar entre 280 y 330 días, dependiendo del estado físico del animal, la genética y el manejo del animal (40). Se puede aplicar métodos estadísticos o sistemas de predicción para estimar la producción

esperada cuando la vaca no alcanza los 305 días. Comúnmente se utiliza estos programas para el mejoramiento genético en la eficiencia individual y el mérito reproductivo (41).

7.5.5 Fertilidad y reproducción

En el ganado lechero, la fertilidad esta influenciada por varios factores, entre ellos los aspectos nutricionales, manejo, sanidad, genética, entre otros. Cuando no se implementan las prácticas de manejo adecuado, la fertilidad tiende a ser bajas, alcanzando una eficiencia apenas del 35%. El éxito reproductivo en bovinos depende de la aplicación de conocimientos técnicos y experiencia en prácticas, así también como en el conocimiento del comportamiento reproductivo animal. En varias explotaciones ganaderas, el desempeño reproductivo constituye un pilar fundamental para la rentabilidad del sistema de producción. Para analizar el rendimiento sin necesidad de esperar largos intervalos, se recurre a indicadores específicos conocidos como parámetros reproductivos, los cuales permiten una evaluación precisa del nivel de fertilidad, sus fortalezas y limitaciones (42).

7.5.6 Longevidad

Es la medida de su vida productiva y está influenciada por la producción, fertilidad, salud y funcionalidad del animal (43). La longevidad de las vacas es importante para la economía de una explotación lechera. Con una vida productiva más prolongada, una explotación podría ser potencialmente más rentable y tener una huella ambiental reducida (44).

La producción de leche total de una vaca se encuentra determinada por su longevidad y su productividad diaria. La correlación inversa entre los factores indica que extender la vida del ganado incrementa la eficiencia del sistema lechero, pero si la producción individual por vaca no disminuye (45).

7.5.7 Ganancia diaria de peso

En los sistemas de producción bovina, la ganancia diaria de peso (GDP) representa un indicador importante donde impacta directamente en la productividad y rentabilidad de la actividad ganadera. Para calcular este valor, es muy importante considerar el periodo específico de engorde del animal, el cual finaliza de acuerdo con los criterios establecidos por el productor (46).

Cuando hay una correcta estimación de la GDP no solo permite monitorear el estado de salud y desarrollo del animal, también mejora la eficiencia en aspectos como la alimentación, el manejo y la planificación reproductiva (47).

7.5.8 Salud y resistencia a enfermedades

La salud y la resistencia a enfermedades en bovinos son aspectos clave en el mejoramiento genético, especialmente en la industria lechera, donde estos factores afectan directamente la productividad, la rentabilidad y el bienestar animal.

Al referirnos a animales que soportan mejor las enfermedades, es importante distinguir entre dos tipos: resistentes y tolerantes. Un animal resistente es aquel capaz de alterar el desarrollo de la inoculación, mientras que un animal tolerante sufre la infección, pero la sobrelleva de manera menos grave. Los animales resistentes ayudan a reducir la prevalencia de enfermedades, mientras que los tolerantes no tienen el mismo efecto. Sin embargo, al hablar de animales genéticamente resistentes a enfermedades, estamos abarcando ambos tipos (48).

7.6 Ganadería en Ecuador

En el Ecuador la ganadería es una actividad económica muy significativas del país, ya que contribuye de manera importante al desarrollo rural, la generación de empleo, la seguridad alimentaria y el abastecimiento de productos como carne, leche y otros derivados.

La producción ganadera ha crecido notablemente en las últimas décadas, impulsada por una demanda creciente de alimentos de origen animal en las economías emergentes. Este crecimiento acelerado, junto con profundas innovaciones tecnológicas y transformaciones estructurales, ha reconfigurado el sector a un ritmo nunca antes visto (49).

Entre 2014 y 2019, la producción de ganado vacuno representó el 66% de la producción ganadera total en Ecuador, consolidándose como la principal actividad dentro del sector pecuario. A nivel nacional, el hato bovino se compone en un 69% de hembras y un 31% de machos, reflejando el grado de calidad de la producción lechera en el país (50). Estos datos evidencian no solo el crecimiento del sector, sino también su papel clave en la economía y el abastecimiento alimentario del Ecuador.

La provincia de Manabí, es una de la provincia donde existe una mayor explotación de ganado, represando el 19% del total Nacional de cabezas de ganado vacuno (51). Sin embargo, otras provincias también destacan en la producción de ganado. Por ejemplo, Chimborazo cuenta con 285 mil cabezas de ganado, Azuay posee 286 mil, Cotopaxi tiene 256 mil y Pichincha alcanza las 306 mil (52). En todas estas regiones, el ganado predominante es el mestizo, criollo, Brahman, Holstein, Brown Swiss y Jersey, razas que son seleccionadas por sus características productivas tanto en carne como en leche.

7.7 Producción de leche en Ecuador

En el año 2023, la producción nacional de leche en el Ecuador alcanzo un volumen aproximado de 5,7 millones de litros al día, donde; la industria formal corresponde el 51,8%. Donde cinco provincias Pichincha, Santo Domingo, Cotopaxi, Manabí y Carchi, concentran colectivamente más del 60% de la producción nacional (53).

En cuanto a la población bovina se aproximada de 4,1 millones de bovinos, de los cuales el 57% se desarrolla más en los valles del callejón andino, mientras que el 43% corresponde a la

ganadería de carne y se realiza principalmente en las zonas subtropicales y tropicales de la Costa y Amazonía. En la Sierra ecuatoriana lidera la producción de leche con un 73% en total, en la Costa un 19% y en la Amazonía 8% restante (54).

Este sector lechero constituye un eje fundamental de dinamismo económico y social en Ecuador, generando ingresos para más de 1.5 millones de personas en la cadena productiva (directa o indirecta). Su contribución macroeconómica alcanza el 6,4% del PIB agropecuario y aproximadamente 0,6% del PIB nacional (55).

7.7.1 Producción de leche en la provincia de Cotopaxi

La provincia de Cotopaxi es una de las principales zonas productoras de leche en el país ocupando así el tercer puesto a nivel nacional, destacándose por sus suelos fértiles y climas favorable para la ganadería (56). En el año 2021, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la provincia de Cotopaxi alcanzó el 11% de la producción nacional de leche, alcanzando una cantidad aproximada de 626 millones de litros anuales. Los cantones donde predominan explotaciones de tipo familiar de 5 y 20 vacas por unidad productiva son Latacunga, Pujilí y Saquisilí (57).

Sin embargo, en los últimos años, la producción lechera en la provincia ha enfrentado desafíos significativos. La falta de forraje debido a condiciones climáticas adversas, como sequías y heladas, ha reducido la producción en un 50%, disminuyendo a 384,000 litros diarios (58).

7.7.2 Producción de leche en el cantón Pujilí

La ciudad de Pujilí, participa activamente en la producción lechera en menor escala que las parroquias rurales. En esta zona urbana el sector lechero se caracteriza principalmente por un sistema de producción en pequeña escala, principalmente gestionada por familias que destinan parte de los ingresos en esta actividad ganadera. Las parroquias rurales como San Isidro y Cochaloma representan un núcleo importante en la producción lechera a nivel local, su promedio de producción por lactancia alcanza el 1.240,75 kg, con un beneficio mensual aproximadamente de USD 162,82, con un costo de producción por litro de USD 0,20 (59).

No obstante, el sector enfrenta problemas estructurales y climáticos, uno de los más relevantes es la baja producción de forraje por factores como la falta de riego y la erosión de los suelos. Esto provoca una reducción de hasta el 50% de producción diaria de leche en algunas fincas (60). Así mismo existen problemas sanitarios, tales como la mastitis bovina, que afectan al hato lechero de la región, reduciendo la cantidad y calidad de la leche (61).

8. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

8.1. Hipótesis 1: El análisis del índice de selección del programa de mejoramiento genético sostenible de bovinos de leche en las parroquias rurales (Cochaloma, San Isidro y Cruzpamba) permite identificar factores genéticos asociados a los rasgos fenotípicos seleccionados.

8.2. Hipótesis 0: El análisis del índice de selección del programa de mejoramiento genético sostenible de bovinos de leche en las parroquias rurales (Cochaloma, San Isidro y Cruzpamba) no permite identificar factores genéticos asociados a los rasgos fenotípicos seleccionados.

9. METODOLOGÍA

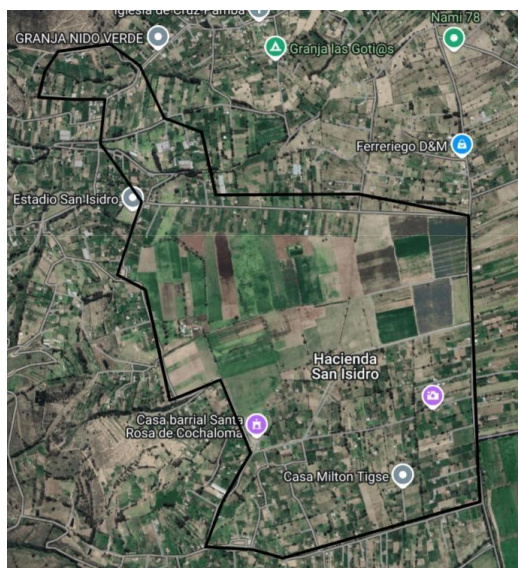
9.1 Área de investigación:

El presente estudio investigativo se realizó en las comunidades: Cochaloma, San Isidro y Cruzpamba ubicado en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, Ecuador, se encuentran a altitudes aproximadas de 3,100 a 3,200 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas latitudinales entre 0.9500° y 0.9606° S y longitudinales entre 78.6939° y 78.7050° W. Estas áreas presentan un clima templado frío, con temperaturas promedio que oscilan entre 9°C y 18°C y una precipitación claramente estacional, con un promedio anual que oscila entre 500 y 1000 mm.

Las limitaciones geográficas incluyen:

- Al Norte: La ciudad de Latacunga.
- Al Este: La ciudad de Ambato.
- Al Oeste: La ciudad de Sigchos.
- Al Sur: La ciudad de Salcedo.

Figura 1 Ubicación geografía de las Comunidades



Fuente: Google Maps

9.2 Población de estudio

La investigación se llevó a cabo con la participación de 9 pequeños productores lecheros, con una cantidad total de 70 cabezas de ganado, incluyendo vacas, vaconas, terneras, terneros y toretes. Cabe destacar el seguimiento de cada animal estrictamente, permitiendo un análisis óptimo en su desarrollo y desempeño dentro del programa de mejoramiento genético. El área de estudio evaluó a su vez las condiciones de manejo, alimentación, genética y productividad de los hatos.

Tabla 2 Productores de leche de las comunidades del cantón Pujilí

COMUNIDAD	PROPIETARIO	NÚMERO DE ANIMALES
SAN ISIDRO	Alexis Guamán	4
	Subtotal	4
COCHALOMA	Aida Ríos	9
	Blanca Criollo	16
	Johana Simaluisa	3
	Leonor Allauca	12
	Patricia Curicho	6
	Subtotal	46
CRUZPAMBA	Daysi Zambrano	5
	María Iza	6

	Milton Rojas	9
	Subtotal	20
TOTAL	BOVINOS	70

9.3 Enfoque de estudio

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, por lo que se basa en la recolección de datos específicos en el campo (ganancia diaria de peso, densidad, lactancia a 305 días y altura de la cruz). Posteriormente, esta información será procesada y tabulada para luego ser interpretada y analizada con el fin de obtener resultados favorables.

9.4 Tipo de estudio:

El estudio se llevó a cabo es de tipo descriptivo observacional, lo cual proporciona un marco metodológico riguroso y sistemático para explorar en profundidad el programa de mejoramiento genético sostenible de bovinos de leche en las comunidades de San Isidro, Cochaloma y Cruzpamba, ubicadas en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, Ecuador. Este tipo de investigación permite la recolección de datos detallados a través de encuestas, entrevistas y análisis de registros, con el objetivo de describir meticulosamente los criterios de selección genética utilizados, evaluar la efectividad del programa en términos de rentabilidad y productividad ganadera, y analizar las limitaciones geográficas y climáticas que puedan influir en los resultados obtenidos. Además, facilita la comparación de diferentes grupos dentro de las comunidades estudiadas, proporcionando una comprensión completa de cómo las variables observadas se relacionan con los objetivos de mejora genética y económica en el contexto específico del sector lechero local.

9.5 Recopilación de datos:

Se registró detalladamente la genealogía de los animales, estas incluyen: la ganancia diaria de peso, la producción de leche, la densidad de la leche y los costos asociados a la explotación ganadera, todos estos datos se midieron periódicamente durante 3 meses que a su vez fueron ingresados en la base de datos en Excel.

9.6 Valor genético:

El valor genético se determinó en base a los datos y registros de la información de los bovinos tales como: información genealógica, peso del animal en kilogramos para posteriormente transfórmalo en gramos, temperatura y densidad de la leche utilizando el lactodensímetro, altura de la cruz mediante una cinta métrica, todos esta información se registró por tres meses

consecutivos (Octubre, Noviembre y Diciembre) del año 2024, en la base de datos en Excel para finalmente ser evaluada mediante el método de BLUP.

9.7 Ganancia diaria de peso:

Se registró la ganancia de peso de los bovinos por tres meses consecutivos (Octubre, Noviembre y Diciembre) del año 2024, donde se utilizó una cinta bovino métrica facilitando el proceso de medición de los animales; tanto terneros, terneras, vaconas, toretes y vacas. La información obtenida fue recopilada en la base de datos de Excel para luego ser calculada y analizada.

Para determinar el resultado se utilizó la siguiente fórmula:

$$GDP_{(gr)}: \frac{(P2_{kg} - P1_{kg})}{DT} \times 1000$$

Donde:

P1,P2,P3.....: Peso del animal en kilogramos

DT: Días transcurrido desde el primer pesaje al segundo.

1000: Índice de conversión a gramos

9.8 Costos de producción

Para el cálculo de los costos se necesitó realizar una entrevista a los productores donde se mencionan preguntas relacionadas con la inversión en alimentación, gastos en medicina veterinaria, precio actual de la venta de leche, costo de la mano de obra, maquinaria, entre otros gastos, según sea necesario el caso.

9.9 Calidad de la Leche

Con la ayuda del lactodensímetro se logró determinar la calidad de la leche gracias a la densidad que este marcaba, esta muestra fue tomada 3 veces en los meses correspondientes y mediante una fórmula de corrección de la densidad se obtuvo los resultados idóneos, además se realizó un test de mastitis utilizando el reactivo CMT (*California Mastitis Test*), ayudando así a verificar anomalías y enfermedades tempranas en el ganado.

9.10 Selección de reproductoras

A partir de la base de datos generada durante el periodo de estudio, se elaboró un protocolo analítico secuencial que comprende: Sistematización de registros, análisis estadístico

inferencial e interpretación contextualizada. La selección de productoras se fundamentó en un índice multivariado que ponderó:

- Ganancia diaria de peso (GDP, g/día)
- Producción láctea estandarizada a 305 días (kg)
- Parámetros de calidad láctea (grasa, proteínas, sólidos totales)
- Rentabilidad económica proyectada (USD/lactancia)

La respuesta genética esperada para cada carácter objetivo se cuantifico mediante el siguiente modelo:

$$\Delta G = h \frac{\sigma P^2}{IG} \times i \times rTI \times \sigma P$$

- ***h²***: Heredabilidad del carácter
- ***i***: Intensidad de selección (diferencial estandarizado)
- ***rTI***: Precisión del valor genético estimado (BLUP)
- ***σP***: Desviación estándar fenotípica
- **IG**: Intervalo generacional (años)

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El trabajo de investigación se desarrolló a base de recopilación de datos en el campo de estudio, por lo que se consideró variables importantes y necesarios para ser analizados de acuerdo a la selección. El estudio tiene como finalidad validar y reconocer la legitimidad de la información y valores requeridos para mejorar la rentabilidad de los productores. Por lo tanto, se presenta los datos analizados e interpretados de las comunidades San Isidro, Cochaloma y Cruzpamba:

10.1 Población de bovinos

El proyecto consta de 9 productores de las tres comunidades del cantón Pujilí, con un total de 70 bovinos en diferentes categorías que se detallan a continuación:

Tabla 3 Categorización de bovinos

PRODUCTORES	TERNERA	TERNERO	TORETE	VACONA	VACA	TOTAL
Aida Ríos	1	3		1	4	9
Alexis Guamán					4	4

Blanca Criollo	3	3		1	9	16
Daysi Zambrano	4				1	5
Johana Simaluisa	1		1		1	3
Leonor Allauca	5			2	5	12
María Iza	1	2	1	1	1	6
Milton Rojas	3			1	5	9
Patricia Curicho2	2	2			2	6
TOTAL	20	10	2	6	32	70

Se determina que hay una mayor cantidad de vacas, se observa 32, a su vez la cantidad de terneras es de 20 a comparación con los terneros 10; finalmente con 6 vaconas y 2 toretes. Como resultado definitivo de 60 hembras y 10 machos que se encuentran en el sector.

10.2 Estado reproductivo

El estado de gestación de la población se determinó de la siguiente manera:

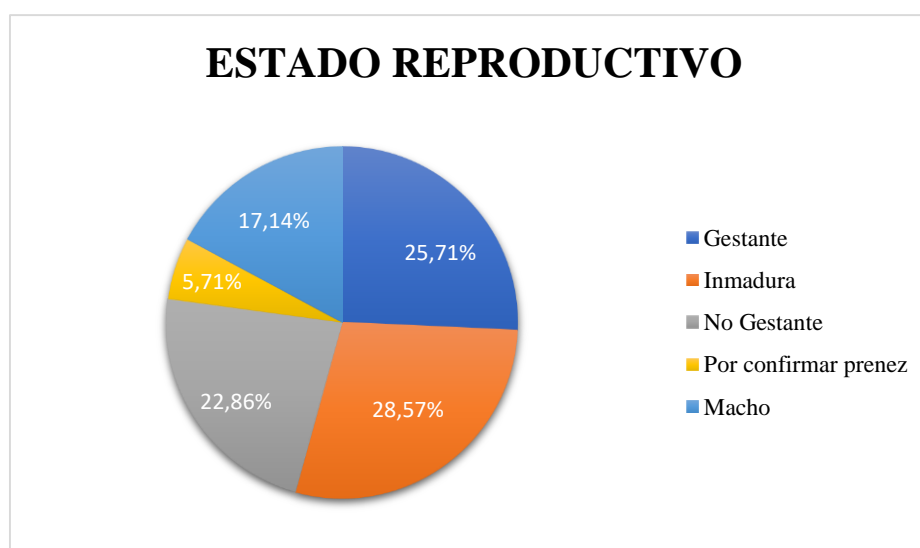


Figura 2 Estado de gestación

En la anterior Figura 2 se observa la distribución del estado reproductivo de los 70 bovinos que participan en el proyecto de las comunidades del cantón Pujilí. Del total, 28% (20 vacas) entre ellas terneras y vaconas que aún están en la etapa de desarrollo reproductivo; es decir, inmaduras. Un 26% están en etapa de gestación, mientras que el 23% son vacas no gestantes por diferentes motivos ya sea por problemas nutricionales, metabólicos o reproductivos, finalmente con 4 vacas por confirmar la preñez (6%).

El bajo porcentaje de hembras gestantes (26%), menor al estándar óptimo (>45%) según De Vries A et al. (2020), muestra limitaciones reproductivas donde comprometen el desarrollo en el mejoramiento genético bovino en Pujilí (62). Esta dificultad se asocia a déficits nutricionales

estacionales que disminuyen la condición corporal y la escasa adopción de tecnologías reproductivas (solo el 12% utiliza el IATF vs 85% en sistemas referentes) (63). Por otra parte, las vacas inactivas (23%) atribuyen a que tienen algún problema reproductivo como leptospirosis, IBR, DBV entre otras enfermedades, que disminuye un 42% las tasas de concepción. Adicionalmente el desbalance poblacional genera presión forrajera y costos innecesarios. Para mejorar esta situación, es necesario intervenciones sanitarias integrales que incluyan el control de enfermedades infecciosas a través de esquemas vacunales actualizados (principalmente de IBR, DVB, leptospira, brucelosis), así como programas estratégicos de desparasitación interna y externa, adaptados a la carga parasitaria estacional, confirmados mediante coproparasitológicos. Así mismo, la evaluación de perfiles metabólicos mediante análisis bioquímicos (niveles séricos de calcio, fosforo, magnesio, urea, NEFA, BHB y proteínas totales) permitiendo detectar desequilibrios nutricionales subclínicos que afectan la actividad ovárica y el desempeño reproductivo. La tecnificación reproductiva masiva mediante inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) y una revisión constante del índice de selección, tal como recomienda Van Raden (2016) (64).

10.3 Estado de salud animal

En la base de información se detalla lo siguiente:

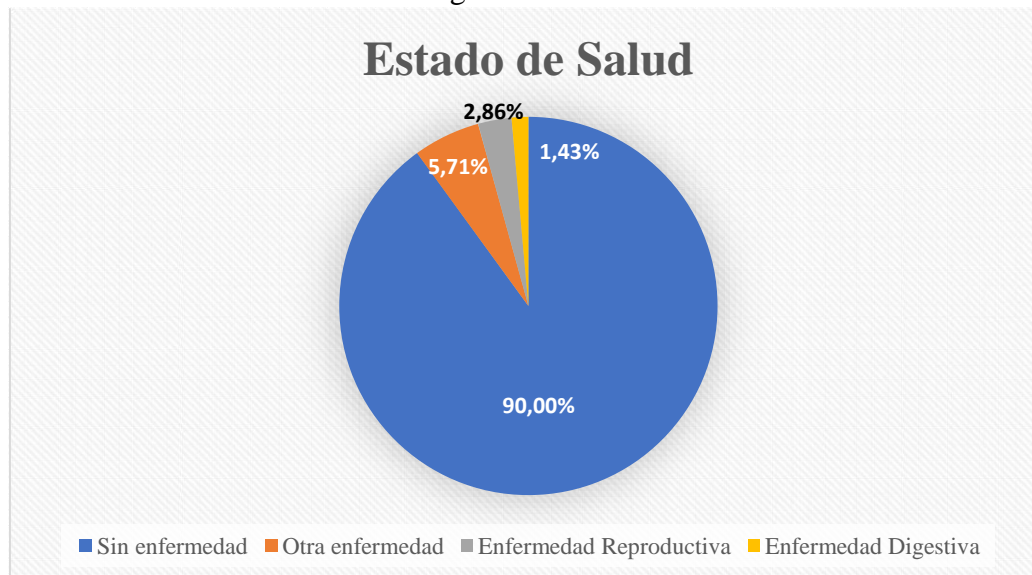


Figura 3 Estado de salud

En la figura 3, se puede constatar que el 90% de los animales no presentan ninguna enfermedad aparente, mientras que con el 6% (4 vacas) presentan otro tipo de enfermedades como puede ser dermatológicos, metabólicos, carenciales entre otros. Finalmente, con el 3% se presencia enfermedades reproductivas y el 1% de enfermedades digestivas. Los animales enfermos que requieren de tratamiento fueron evaluados y tratados según la necesidad específica de la

enfermedad. Por otra parte, todos los animales bovinos dentro del proyecto de mejoramiento genético de los sectores de estudio fueron desparasitados e inyectados con vitaminas.

La baja prevalencia de enfermedades aparentes en el hato lechero del sector (90% de animales sanos) es favorable con estudios regionales donde reportan solo el 65 – 70% de sanidad (65). Sin embargo, la presencia de un 6% de patologías diversas y un 3% de enfermedades reproductivas demanda atención, pues supera la media reportada en hatos con nutrición balanceada (< 2%) (58).

La incidencia del 1% de trastornos digestivos coincide con hallazgos de Zambrano et al. (2023) en Pujilí, atribuible al manejo de pastoreo rotativo (66). No obstante, la falta insuficiencia de diagnósticos laboratoriales (solo evaluación clínica) limita la detección de enfermedades subclínicas como la hipocalcemia o mastitis, riesgo relevante por la Red de Salud Animal del MAGAP (67).

10.4 Fenotipo de la ganancia diaria de peso

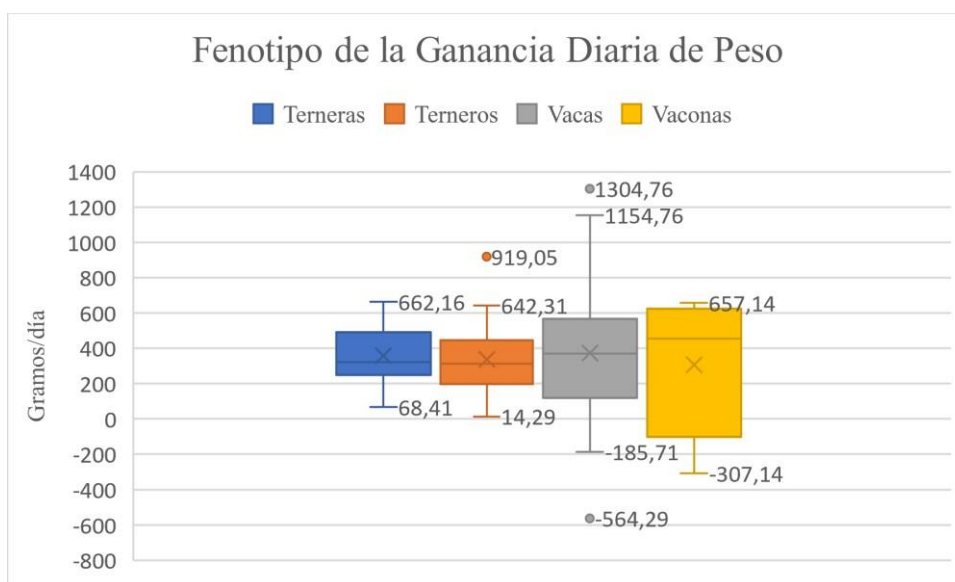


Figura 4 Fenotipo de la ganancia diaria de peso

Al analizar la Figura 4 sobre el fenotipo de la GDP, muestra diferencias importantes dependiendo a las categorías, evidenciando fallas importantes en la homogeneidad del sistema de producción del cantón Pujilí. El fenotipo en la categoría de vacas, el mayor valor lo tiene Lola con 1304,76g; mientras que, Bacha con -564,29g tiene la menor conversión alimenticia. Esto conlleva a que existe una variedad fenotípica dentro de la categoría, lo que indica que factores ambientales están influyendo significativamente en la expresión fenotípica del animal. Según Cuadro et al. (2016), en los sistemas de producción andinos, hay diferencias tan amplias en animales adultos que están estrechamente asociadas a manejos inconsistentes y deficiencias

en el monitoreo de enfermedades subclínicas. Por otra parte, en el estudio de Barros y Fernández (2021) en ganadería lecheras familiares del antiplano boliviano identifico que variaciones superiores a 500 g en vacas adultas reflejan ambientes desbalanceados que limitan la expresión genética. En cambio, en la categoría de vaconas, con el mayor valor fenotípico es Evelyn con 657,14g y con un valor menor a la media es Martha con -307,14g a diferencia de las vacas, la variabilidad es baja. En la categoría de terneros, Martín con 919,05g lidera el puesto del fenotipo, y en contraste con 14,29g, Omarcito tiene un menor desarrollo fenotípico, mostrando diferencias significativas entre animales jóvenes. Finalmente, en la categoría de terneras, Marujita con 662,16 g es fenotípicamente la mejor, mientras que Nena con 68,41g es la menor.

Si bien existen animales con valores óptimos e incluso sobresalientes (como Lola con 1304,76 g en vacas o Martín con 919,05 g en terneros), estos casos son aislados y contrastan fuertemente con individuos que presentan GDP negativas o extremadamente bajas (como Bacha con 564,29 g o Omarcito con 14,29 g), lo cual no es aceptable desde un punto de vista zootécnico.

De acuerdo con estudios como los de Espinoza et al. (2021) y Barros y Fernández (2021), en sistemas campesinos bien gestionados, la GDP ideal debe mantenerse entre 700 y 900 g/día en animales de crecimiento, y 1000 g/día en animales adultos bien alimentados (68). Por lo tanto, los valores negativos o menores a 300 g/días observados en los resultados indican un mal funcionamiento en el manejo o planificación técnica (69).

10.5 Proyección del valor estimado de cría para la ganancia diaria de peso

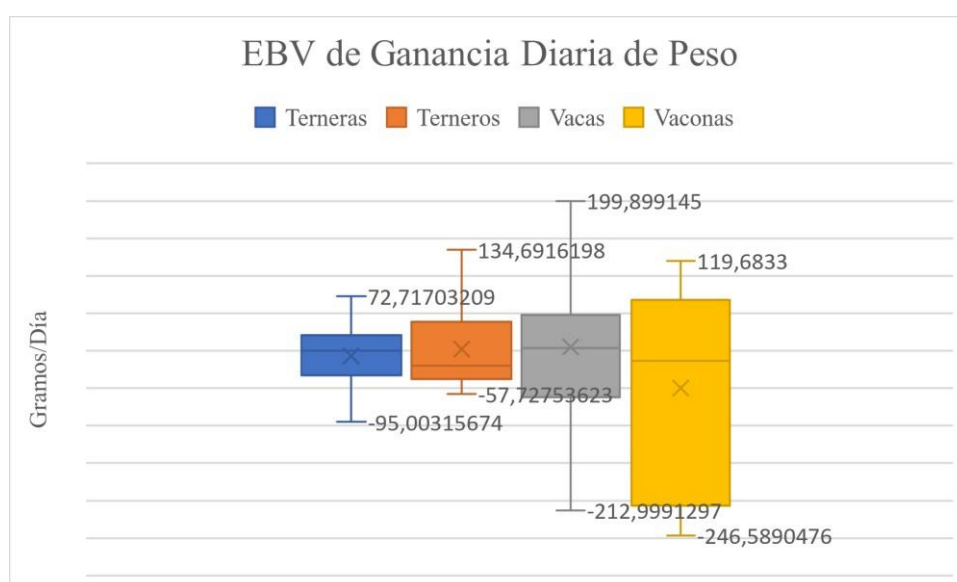


Figura 5 Estimated Breeding Value para la GDP

En la Figura 5 se observa el EBV para la ganancia diaria de peso, en la cual se encuentran importantes diferencias de valores entre categorías. En la sección vacas, el animal con mayor valor es Lola con 199,89g, lo que verifica que es la mejor opción genéticamente, mientras que la vaca Bacha con -212,99 g se identificó como la peor EBV; por lo tanto, no es recomendable para la selección genética. En vaconas, Evelyn con 119,68 lidera el primer puesto en EBV; por otro lado, Martha con -212,99g tiene el peor valor de la categoría. En comparación con el fenotipo podemos observar que no siempre un buen fenotipo es primordial para la selección de un buen potencial genético. En la categoría de terneros, Martin con 134,69g tiene el mejor valor en EBV, mientras que Valiente con -57,72g es el peor, todo esto puede ser clave para una mejor selección temprana basada en EBV. Finalmente, en las terneras, Osita con 72,71g es la mejor EBV, a diferencia de Camila con -95,00g que tiene un valor inferior al de la media en EBV. Lo que conlleva a una variación divergente entre el fenotipo y el Estimated Breeding Value (EBV).

Tabla 4 Mejores animales respecto a la respuesta a la selección en GDP

ID	Categoría	Propietario	Phenotype	EBV X>150	Accuracy	Respuesta a la selección
Lola	Vaca	Leonor Allauca	1304,76	199,89	0,53	557,34
Evelyn	Vacona	Blanca Criollo	657,14	119,68	0,55	477,12
Martin	Ternero	Johana Simaluisa	919,05	134,69	0,52	492,13
Osita	Ternera	Patricia Curicho	580,95	72,71	0,49	430,16

Los resultados revelan una variabilidad genética marcada, bajo una heredabilidad moderada ($h^2 = 0,30$), donde Lola (557,34 g/día – accuracy 0,53) y Martin (492,13 g/día - accuracy 0,52) muestran un potencial excepcional, evidenciando que la selección basada en el valor de cría estimado (EBV) identifica eficientemente animales de alto merito genético, como lo sostienen Liu et al (2021) en estudios de ganado lechero donde $EBV > 150g/dia$ predicen ganancias significativas (70); no obstante, la variabilidad entre fenotipos (Evelyn 657,14 g/día vs EBV:119,68) corroboran una interacción fuerte entre genotipo – ambiente como lo dicta Torres et al. (2021), es decir factores locales como estrés térmico y calidad forrajera delimita la expresión genética en los animales del Pujilí (71). Es por eso la importancia de integrar datos genómicos para mejorar la precisión en EBV, muy importante en hatos de pequeña escala

donde, la selección temprana de animales como “Martin” y “Osita” podrían acelerar el proceso genético.

La precisión o accuracy de los valores obtenidos, indican una variación moderada que oscila entre 0,49 y 0,55; mostrando que, tiene un nivel de confiabilidad moderada en las estimaciones obtenidas. La vaca Evelyn presento el mayor valor de precisión (0,55), seguida de Lola (0,53), el ternero Martin (0,52) y la ternera Osita (0,49). Todos estos valores reflejan que, aunque haya información suficiente para para la evaluación genética entre animales, aún existen margen de error, debido al tamaño reducido del grupo evaluado, la falta de registros genealógicos o una la limitada disponibilidad de datos fenotipos históricos.

10.6 Fenotipo para la lactancia 305 días

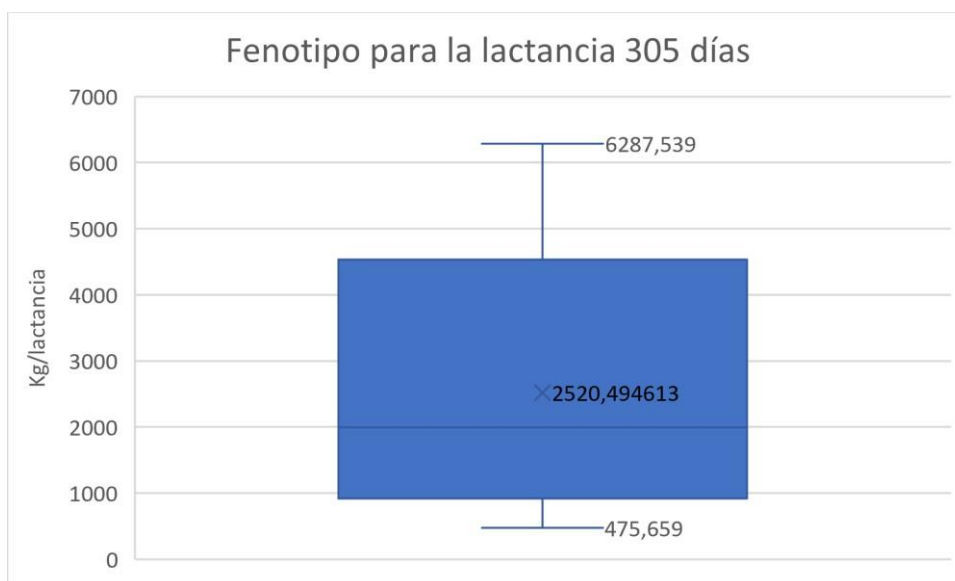


Figura 6 Fenotipo de la lactancia a los 305 días

La figura 6 muestra la variabilidad exclusivamente por su fenotipo de leche ajustada a 305 días, destacando la vaca “Manuelita” con un rendimiento de 6287,53 litros por lactancia, superando por más del doble de la media (2520,49 litros); mientras que, la vaca que menor litros tiene es, Bacha con 475,65 litros a los 305 días. La variabilidad fenotípica marcada en la producción de leche ajustada a los 305 días (475,65 – 6287,53 L) entre las vacas de medianos y pequeños productores de Pujilí muestran falencias notorias en el manejo, genética y ambiente(72).

Mientras ejemplares excepcionales como “Manuelita” (6287,53 L) demuestran el potencial genético local; mientras que, casos como “Bacha” (475,65 L) evidencian posibles limitaciones tanto nutricionales, de salud o estrés.

Estudios demuestran que en un sistema campesino latinoamericano vacas con alto valor genético pueden superar en 2,5 la media local cuando reciben un manejo adecuado (nutrición

balanceada, sanidad preventiva y control de enfermedades, manejo reproductivo eficiente, ambiente confortable, registros y selección genética), (73); mientras que, las vacas con bajo rendimiento se asocian frecuentemente a un limitado acceso a programas de mejoramiento genético, enfermedades subclínicas no controladas (como la mastitis que reduce en un 20-35% en la producción), y estrés térmico y nutricional en sistemas extensivos (74).

Si comparamos con el promedio general que es de (2520,49 L) con las de alto valor genético, se dice que aquellas vacas que se encuentran cercanas o por debajo del promedio probablemente no están expresando su potencial genético completo debido a manejos deficientes.

10.7 Proyección del valor estimado de cría para la lactancia 305 días

Tabla 5 Mejores animales respecto a la respuesta a la selección en Lactancia 305 días

ID	Propietario	Phenotype	EBV	Accuracy	Repuesta a la selección
Mocha	Leonor Allauca	5647,69	738,42	0,48	3258,92
Manuelita	Aida Ríos	6287,53	616,51	0,47	3137,01
Marlene	Blanca Criollo	3692,63	599,41	0,51	3119,91
Mocha	Milton Rojas	5114,499	453,21	0,48	2973,71

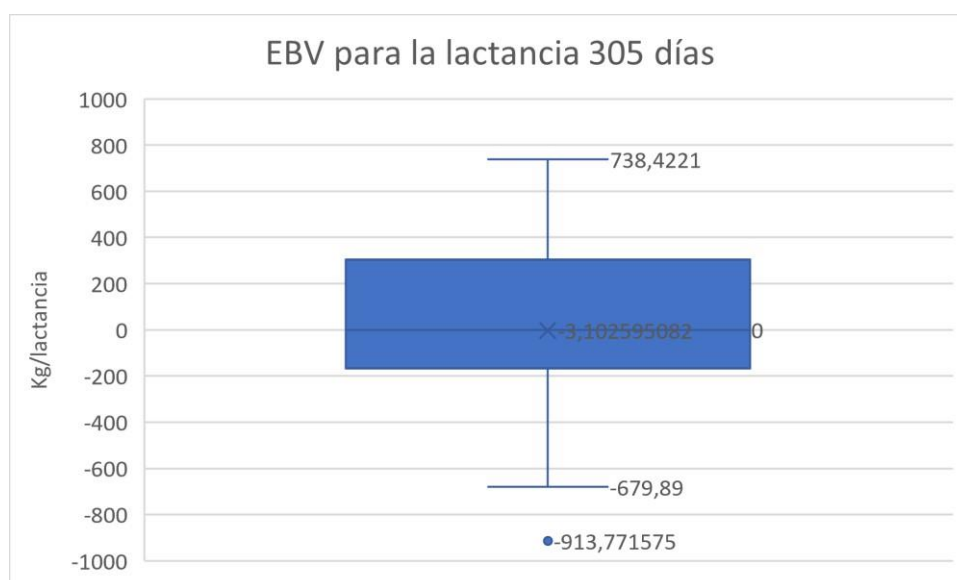


Figura 7 Estimated Breeding Value de la lactancia 305 días

Al analizar la *Tabla 7*, se seleccionó a las cuatro mejores vacas en función de su valor de cría estimado (EBV) para la producción de leche ajustada a 305 días. En donde muestran que “Mocha” presenta el mayor valor productiva fenotípicamente con 5647,69 litros/lactancia y de la misma manera el valor de EBV con 738,42 litros/lactancia, lo que muestra que tiene un alto

potencial genético para la producción láctea. Mientras que, otras vacas como “Marlene” tienen una producción fenotípica menor de 3692,63 litros/lactancia, pero con un EBV alto de 599,41 litros/lactancia y a su vez con la mayor precisión (0,51) en comparación con el resto de animales de la tabla, lo que indica un potencial genético significativo para mejorar la producción en su descendencia. El accuracy del resto de los animales es del 0,48 lo que indica que hay una confiabilidad baja lo que indica que es útil como guía, pero con precaución. Además, en la figura 7 muestra el intervalo de los valores de cría estimados para la producción de leche a 305 días, con un rango que oscila aproximadamente de 738,42 litros/lactancia perteneciente a la vaca “Mocha” y con un valor de -913,77 litros/lactancia de la vaca “Preciosa1”, mostrando una vez más la evidencia en la variabilidad del potencial genético dentro de la población de estudio.

La evaluación genética muestra patrones clave alineados con la teoría de mejoramiento animal: “mocha” la vaca combina alto rendimiento fenotípico con un EBV elevado, demostrando expresión genética muy favorable bajo condiciones locales (75), por otro lado “Marlene” es un ejemplo del principio de Falconer donde habla que animales con genotipo intermedio pueden poseer valor genético superior transferible a la descendencia (76).

La precisión moderada tanto en Marlene Vs los otros (0,48) coinciden con reportes de VanRaden donde hay registros limitados en este tipo de sistemas, valores $<0,60$ requieren una selección más prudente (77). La extensa variabilidad genética confirma hallazgos de GarcíaRuiz en diversidad no explotada en hatos pequeños (78); no obstante, animales con EBV bajos hasta con valores negativos exigen un descarte inmediato para evitar desgaste genético.

10.8 Fenotipo para la densidad de la leche

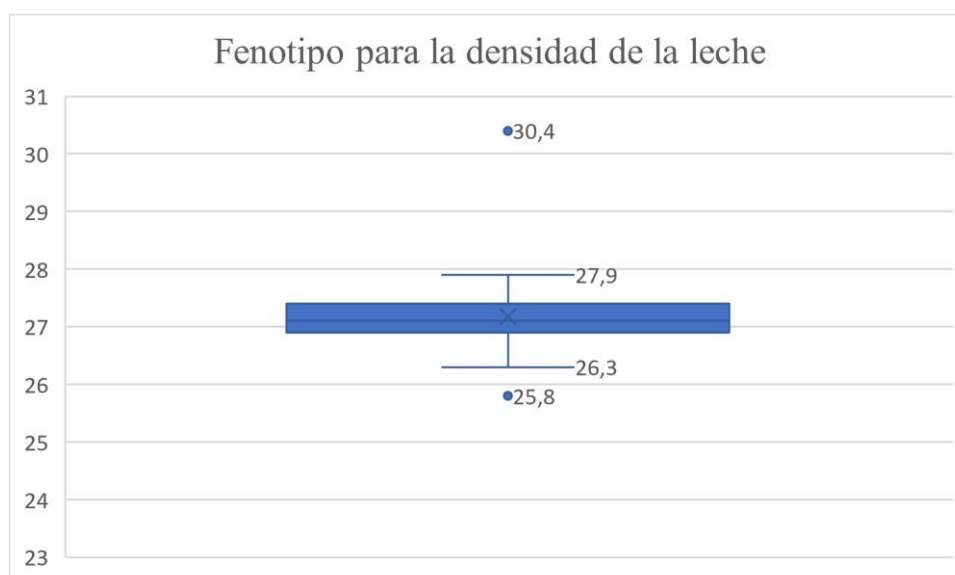


Figura 8 Fenotipo para la densidad de la leche

En la Figura 8 se muestra la variabilidad de valores que va desde 25,8 a 30,4 en base al fenotipo de la densidad de la leche, en donde la vaca “Quiteña” predomina con un valor de $30,4 \text{ g/cm}^3$, mientras que “Mocha” es la vaca que menor densidad de la leche tiene con $25,8 \text{ g/cm}^3$.

Evidenciando que “Quiteña” presenta una densidad de leche superior gracias a su genética favorable, que lo permite producir leche con mayor contenido de sólidos no grasos. Mostrando que el mérito genético individual incide directamente sobre la calidad de la leche, incluso bajo condiciones alimenticias homogéneas. Estudios confirman que valores $> 30 \text{ g/cm}^3$ indican un elevado contenido de sólidos no grasos (proteínas, lactosa, minerales), mientras que, densidades $< 26 \text{ g/cm}^3$ sugieren posible dilución por mastitis subclínica o estrés hídrico (37). Asimismo, estudios realizados en grupos genéticos puros confirmaron que razas como Jersey presentan densidades significativamente más altas que la raza Holstein, lo que evidencia el efecto de la genética en estos parámetros.

En investigaciones sobre propiedades físicas de la leche, muestran que la relación entre temperatura y contenido sólidos totales influyen directamente en el resultado de la densidad, siendo más bajas en leche con mayor proporción de grasa (79). Por lo tanto, los valores observados tanto en “Quiteña” y “Mocha” pueden atribuirse a diferencias en composición lipídica o en etapas de lactancia, coincidiendo con lo dicho por Dymnicki et al, quienes demostraron disminuciones de densidad al avanzar el ordeño, concordantes con mayor grasa y sólidos torales al final de la extracción (80).

10.9 Proyección del valor de estima de cría para la densidad de la leche

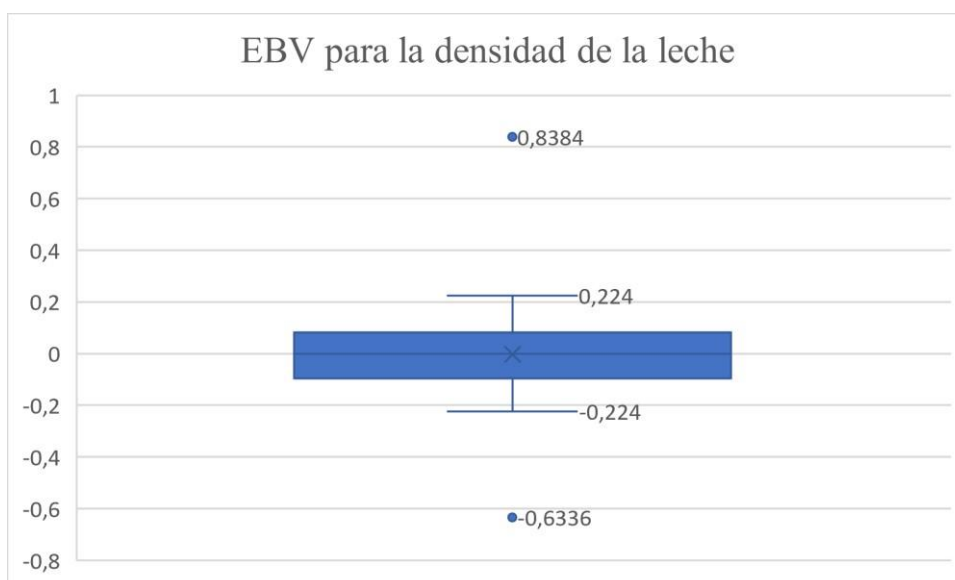


Figura 9 *Estimated Breeding Value de la densidad de la leche*

En la figura 9 se muestra una notable variabilidad genética en la densidad de la leche, destacando a “Quiteña” como la mejor, con un EBV de 0,83 lo que indica un alto interés genético; mientras que, “Mocha” con un valor de -0,63 recomendando un descarte inminente. Estos resultados reflejan la efectividad del programa de selección aplicado y evidenciando el potencial de mejora genético dentro del hato, siendo recomendable la multiplicación de animales con altos EBV como “Quiteña” para lograr avances significativos en la calidad de la leche.

Tabla 6 *Mejores animales respecto a la respuesta a la selección en Densidad de la leche*

ID	Propietario	Phenotype	EBV	Accuracy	Repuesta a la selección
Quiteña	Leonor Allauca	30,4	0,83	0,50	28,02
Inglesa	Milton rojas	27,9	0,22	0,50	27,40
Morocha	Alexis Guaman	27,5	0,16	0,48	27,34
Princesa	Aida Ríos	27,7	0,12	0,48	27,30

En la Tabla 6, se muestra a los mejores cuatro animales respecto a la respuesta a la selección, donde “Quiteña” se posiciona en primer puesto con un valor a la respuesta a la selección de 28,02 y una precisión (accuracy) de 0,50; lo que la posiciona como portadora del mayor mérito genético dentro de los sectores del cantón Pujilí. Este valor de precisión indica un grado aceptable de confianza en la estimación de su mérito, comparable a los estándares usados en ganado lechero Hostein, donde valores de 0,45 – 0,55 se consideran mínimos aceptables para decisiones de selección. Este rango moderadamente bajo en el accuracy se debe a que no se cuenta con registros completos ni continuos sobre la producción, salud, fertilidad y genealogía del animal.

En segundo lugar, figura “Inglesa” con valores de 27,40 en la respuesta a la selección y la misma precisión de 0,50 lo que muestra que aunque su mérito genético es inferior a la de “Quiteña”, su estimación es igualmente fiable. De acuerdo con VanRaden et al. (2016) se observó un fenómeno similar en vacas genómicas: los animales con valores genéticos cercanos mostraron diferencias en el ranking sin comprometer la confiabilidad de sus estimaciones (64).

Las vacas “Morocha” y “Princesa” se encuentran justo detrás con valores de 27,34 y 27,30 respectivamente y una precisión sutilmente menor de 0,48; lo que apunta a una confiabilidad

moderada. Según estudios de Boichard et al. Reporta que vacas con una precisión (accuracy) en relación a 0,48 – 0,50 presenta una variabilidad genética razonable, aunque se requiera de datos adicionales para estabilizar sus EBV (81).

10.10 Costos de producción y beneficios del productor

El conocimiento de los costos de producción es fundamental para la gestión ganadera, ya que permite a los productores tomar decisiones técnicas, ajustar requerimientos financieros y mejorar su capacidad de negocio en el mercado. Sin embargo, pese a su relevancia estratégica, la mayoría de los productores subestima el análisis, limitándose a estimaciones económicas empíricas carentes de rigor metodológico.

Tabla 7 Costos de producción de la leche

PROPIETARIO	PRECIO		GASTOS DE LA LECHE	COSTOS DE INGRESO DE LA LECHE		BENEFICIO
	TOTAL, LITROS AL MES	DE LITRO DE LECHE		PRODUCCIÓN POR LITRO	SO DE LA LECHE	
Leonor Allauca	1440	0,42	580,00	0,40	604,80	24,80
Blanca Criollo	540	0,40	300,00	0,56	216,00	-84,00
Patricia Curicho	540	0,39	257,00	0,48	210,60	-46,40
Aida Rios	1500	0,42	370,00	0,25	630,00	260,00
Johana Simaluisa	480	0,42	125,00	0,26	201,60	76,60
Milton Rojas	960	0,42	210,00	0,22	403,20	193,20
Alexis Guaman	900	0,38	220,00	0,24	342,00	122,00
Daisy Zambrano	270	0,42	195,00	0,72	113,40	-81,60
María Iza	150	0,40	100,00	0,62	60,00	-40,00
TOTAL	6780	3,67	2357	3,75	2781,60	424,60
PROMEDIO	753,33	0,40	261,88	0,41	309,06	47,17

La tabla 9 muestra los costos y beneficios mensuales por productor en función de la producción de leche, se observa una marcada variabilidad en la rentabilidad. Aida Ríos presenta el mayor beneficio mensual con \$260,00, asociada con una alta producción de leche 1500 litros y con un bajo costo de producción por litro llegando a ser \$0,25, lo que optimiza sus ingresos totales esto se da gracias a una gestión eficiente de los recursos, ya que cuenta con áreas para pastos y

forraje disponibles; por lo tanto, tiene menos dependencia a concentrados comerciales. A continuación, está el productor Milton Rojas con una ganancia de \$193,20 y Alexis Guamán con \$122,00 ambos con eficiencias similares en costos de producción bajos y precios de venta aceptables. En contraste, productoras como Blanca Criollo, Daisy Zambrano y María Iza registran pérdidas importantes hasta de -\$84,00; esto se debe a costos de producción elevados que van desde \$0,56 a \$0,72 y baja producción de leche, lo que impide que se cubra sus gastos. El promedio general de beneficio mensual es de \$47,17; evidenciando una situación de rentabilidad limitada y heterogénea en los productores, donde factores como el volumen de producción, precio de venta y eficiencia en el manejo de costos determina la variabilidad económica del sistema lechero familiar.

Al comparar la productora Aida Ríos con Leonor Allauca, que a pesar de tener producciones elevadas no gana, decimos que, aunque Leonor Allauca tiene una producción alta (1440 litros al mes, muy similar a Aida Ríos) su beneficio neto apenas es de \$24,80 es decir casi diez veces menos que Aida. Esto implica por su costo de producción por litro es de \$0,40 muy superior al de la productora Aida Ríos.

A pesar de vender la leche a un precio similar de \$0,42/litro, Leonor apenas genera ingresos netos ya que sus gastos mensuales son elevados (\$580). Esta situación es debido a que la Productora Leonor Allauca no optimiza los recursos, ya que, hay un alto costo por alimentación (como forraje y balanceado), y también por una carencia en planificación forrajera, lo que la hace vulnerable en épocas secas.

La media de beneficio de \$47,17 mensuales evidencia una rentabilidad marginal en el promedio del grupo, lo cual coincide con lo reportado por la FAO (2022), donde señala que la mayoría de los pequeños productores en la región andina enfrentan márgenes de ganancia reducidos debido a variaciones en el precio de la leche, alimentación estacional o baja eficiencia productiva (82). Por otro lado, la alta dispersión en los indicadores de costos de producción (\$0,22 – \$0,72 por litro) refleja diferencias en prácticas de manejo, acceso a insumos y nivel de tecnificación SIPROLE, lo que ha sido documentado en Cotopaxi por estudios recientes del MAG y (83).

En los sectores de San Isidro, Cochaloma y Cruzpamba del Cantón Pujilí, el principal gasto en la producción ganadera se concentra en la alimentación del bovino, representando entre el 60% y 75% del costo total mensual, esto se debe a la época seca que existe en el año adquiriendo forraje y balanceado para compensar, así también la dependencia de alimentos comerciales constantes durante el año, elevando considerablemente el costo de producción. Por otro lado,

la falta de infraestructura y planificación forrajera genera altos gastos en suplementación alimenticio.

Por lo tanto, los resultados muestran que mejorar la rentabilidad requiere no solo aumentar la producción, sino también reducir costos fijos y optimizar el uso de recursos.

Selección de la mejor vaca

Según los resultados, la vaca con el ID “Mocha” es la mejor opción, por lo que:

□ Tiene una producción mayor de leche en los 305 días que llegan a los 5647,69 litros. □ El valor más alto de acuerdo al (Estimated Breeding Value) con 738,2 litros/lactancia, lo que indica que su descendencia obtendrá un excelente potencial en producción láctea. □ Su proyección de valor de cría es de 3258,92 litros, confirmando que las crías heredaran su alta capacidad productiva.

10.11 Escenarios económicos de rentabilidad y costos asociados al mejoramiento genético

Al evaluar la rentabilidad del programa de mejoramiento genético de los hatos lecheros del Cantón Pujilí, se diseñaron tres escenarios con diferentes niveles de inversión en alimentación, manejo y salud.

Escenario 1: Bajo Costo (Estrategia de Eficiencia y Resiliencia)

Este escenario prioriza la sostenibilidad financiera mediante una inversión reducida (\$220/vaca/año) y parámetros genéticos conservadores (GDP: 70 kg/día, Lactancia: 4,500 L). La rentabilidad se maximiza por el bajo punto de equilibrio (0.06 vacas/hectárea) y un ROI (Retorno de la Inversión) excepcional (1,815%), generando \$3,994.5 USD de beneficio neto anual por vaca. Su fortaleza radica en la resiliencia ante crisis económicas: incluso con una caída del 30% en precios de leche, mantiene rentabilidad positiva debido a costos operativos mínimos y eficiencia en el uso de recursos. Es ideal para pequeños productores con acceso limitado a capital, sistemas extensivos o regiones con alta volatilidad de mercados, donde animales como Osita (GDP) y Princesa (densidad) ofrecen el mejor balance costo-beneficio. La TIR del 22.5% a 5 años confirma su viabilidad a largo plazo.

En la práctica este escenario implica un manejo sanitario básico con desparasitación sistémica y vacunación esencial (Brucelosis, leptospirosis, fiebre aftosa); una alimentación basada en pastoreo y residuos agroindustriales, reproducción mediante monta natural controlada;

selección fenotípica de animales resistentes; registros manuales de producción y sostenibilidad con mínima dependencia de insumos externos.

Escenario 2: Medio Costo (Estrategia de Balance Óptimo)

Con una inversión moderada (\$375/vaca/año) y mejoras genéticas balanceadas (GDP: 135 kg/día, Lactancia: 6,000 L), este escenario ofrece el equilibrio ideal entre riesgo y rentabilidad. Genera \$7,372.25 USD de beneficio neto anual (ROI: 1,966%) con un punto de equilibrio accesible (0.12 vacas/hectárea). Su ventaja competitiva es la adaptabilidad: resiste fluctuaciones moderadas de precios ($\pm 20\%$) sin comprometer la rentabilidad, gracias a la diversificación productiva. Recomendado para granjas medianas con acceso a mercados estables, permite implementar tecnologías básicas (sensores IoT) y aprovechar animales como Martin Ternero (GDP) y Manuelita (Lactancia). La TIR del 18.1% y período de recuperación de 9 meses lo posicionan como la opción más versátil para escalar progresivamente.

En la práctica este escenario contempla una alimentación mejorada con forrajes conservados (ensilaje), suplementos minerales y balanceados básicos; sanidad integral con protocolos vacunales completos y control reproductivos periódicos; implementación de tecnologías básicas como sensores Iot para el celo y la temperatura; reproducción sistémica con IATF; uso de registros productivos y genéticos; y selección de animales como “Martin” (GDP) y “Manuelita” (lactancia).

Escenario 3: Alto Costo (Estrategia de Especialización Premium)

Destinado a mercados diferenciados, este escenario requiere alta inversión (\$600/vaca/año) para maximizar el potencial genético (GDP: 200 kg/día, Lactancia: 7,500 L). Aunque genera el mayor beneficio bruto (\$10,680 USD neto anual), su ROI (1,780%) es sensible a crisis: una caída del 20% en precios reduciría la rentabilidad en 45%. Es viable solo con acceso garantizado a segmentos premium (leche orgánica, mercados de exportación) y tecnologías avanzadas (genómica). Animales elite como Lola (GDP) y Mocha (Lactancia) son esenciales, requiriendo certificaciones de calidad para justificar los costos. La TIR del 14.3% y período de recuperación de 14 meses reflejan su mayor riesgo, recomendándose únicamente para empresas con solidez financiera y canales comerciales establecidos.

En la práctica este escenario incluye dietas formuladas por nutricionistas; programas sanitarios certificables y trazables; alta inversión genética en animales elite como “Lola” (GDP) y “Mocha” (lactancia); uso intensivo de tecnologías avanzadas (sensores, softwares de gestión, análisis in situ de calidad de leche); reproducción asistida con IATF, semen sexado y

transferencia embrionaria; obtención de certificados como leche orgánica o libre de antibióticos; a acceso a canales premium de comercialización y análisis financiero trimestral.

11. IMPACTOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

11.1 Impacto Social

Elevar el nivel de vida de los productores mediante el aumento de sus ingresos y el fortalecimiento de la estabilidad económica del sector ganadero. Además, se promoverán procesos de capacitación en temas de mejoramiento genético y manejo adecuado del ganado bovino, generando beneficios tanto para los productores como para la comunidad en general.

11.2 Impacto Ambiental

Usar eficientemente los recursos para la producción lechera, en especial lo relacionado con la alimentación del ganado como las pasturas y otros sistemas. Asimismo, se incentiva la adopción de prácticas ganaderas sostenibles que prioricen el bienestar animal y promueven la conservación de los recursos naturales.

11.3 Impacto Económico

Aumentar la rentabilidad de los pequeños y medianos productores ganaderos, mediante una mejora en la cantidad y calidad de la leche producida. Esto permitirá disminuir los costos de producción a largo plazo, a través de la selección de animales más productivos y eficientes, en beneficio directo de los productores.

12. CONCLUSIONES

- El valor genético (EBV) de los animales es en GDP, la vaca *Lola* destacó con un EBV de 199,89 g/día y una respuesta a la selección de 557,34 g, mientras que *Martin* (ternero) alcanzó 134,69 g/día con una respuesta proyectada de 492,13 g/día. joven. En cuanto a producción de leche ajustada a 305 días, la vaca *Mocha* presentó el mayor EBV con 738,42 litros, generando una respuesta a la selección de 3.258,92 litros, seguida por *Manuelita* con 616,51 litros y una respuesta de 3.137,01 litros. Para la densidad de la leche, *Quiteña* mostró el EBV más alto (0,83) con una respuesta de 28,02 g/ml, valor que indica alto contenido de sólidos no grasos, mientras que *Mocha* registró un EBV negativo (-0,63), lo cual sugiere una menor calidad composicional. Estos resultados evidencian que el mérito genético puede diferir considerablemente del rendimiento fenotípico, como en el caso de *Marlene*, que con un EBV alto (599,41 litros) superó a vacas con mayor producción observada. Así, la identificación de animales con alta heredabilidad y precisión media (accuracy entre 0,48 y 0,55).
- La estimación del peso económico de los caracteres ganancia diaria de peso (GDP), producción de leche ajustada a 305 días y densidad de la leche, permitió proyectar el impacto

financiero del mejoramiento genético en los sistemas lecheros familiares. Utilizando el precio promedio de venta de leche de \$0,41 por litro, se calculó que animales como Mocha, con un EBV de 738,42 litros/305 días, generarían un ingreso adicional estimado de \$302,75 por lactancia, mientras que Manuelita, con un EBV de 616,51 litros/305 días, produciría \$252,76 adicionales. En contraste, animales con EBV negativos, como Preciosa1 (-913,77 litros), representarían una pérdida potencial de -\$374,65 por lactancia. En cuanto a la densidad de la leche, se reconoce que un EBV positivo como el de Quiteña (0,83) mejora la calidad composicional de la leche y aumenta su valor en mercados. Por otro lado, en GDP, animales como Lola (EBV = 199,89 g/día) y Martin (134,69 g/día) muestran alto potencial de eficiencia en conversión alimenticia.

- La simulación de escenarios económicos con base en los resultados genéticos obtenidos permitió proyectar la rentabilidad del programa de mejoramiento genético bajo tres niveles de inversión: bajo, medio y alto costo. En el escenario de bajo costo, con una inversión de \$220 por vaca/año, se generó una utilidad neta de \$3.994,50, validando que la selección genética basada en animales como *Lola* (GDP = 199,89 g/día) y *Mocha* (738,42 litros/305 días) es económicamente viable incluso para productores con recursos limitados. En el escenario medio costo, con una inversión de \$375, la utilidad neta se incrementó a \$7.372,25, siendo apropiado para unidades en proceso de tecnificación. En el escenario de alto costo \$600/vaca/año, se alcanzó la mayor utilidad bruta \$10.680, aunque con mayor sensibilidad al mercado, ya que una reducción del 20 % en el precio de la leche puede disminuir hasta en un 45 % la rentabilidad.

13. RECOMENDACIONES

- Fortalecer los registros productivos y genealógicos en campo, mediante capacitaciones y asistencia técnica continua, con el fin de mejorar la calidad de los datos utilizados para estimar el valor genético y aumentar la precisión (accuracy) de los EBV obtenidos. A su vez fomentar la selección genética basada en índices de mérito total, priorizando características económicamente relevantes como la ganancia diaria de peso, lactancia ajustada a 305 días y densidad de la leche, lo cual permitirá orientar el mejoramiento hacia animales más eficientes y rentables.
- Implementar programas de selección temprana en terneras y terneros, como en los casos de “Martin” y “Osita”, que mostraron buen desempeño genético, para reducir el intervalo generacional y acelerar el progreso del hato bovino en estas comunidades y adaptar los niveles de inversión en función de la capacidad productiva de cada productor, promoviendo la aplicación del escenario económico más adecuado (bajo, medio o alto costo), de acuerdo con

los recursos disponibles y el acceso al mercado, para garantizar la sostenibilidad del programa.

- Promover el uso de tecnologías reproductivas, como la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), especialmente en hatos con bajo porcentaje de gestación, a fin de mejorar la fertilidad y facilitar la difusión del material genético superior en los sectores estudiados. Diseñar estrategias específicas de alimentación y manejo, particularmente en las épocas secas, para reducir los costos asociados al forraje y mejorar la expresión fenotípica de los animales seleccionados, evitando así que el potencial genético sea limitado por condiciones ambientales adversas.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2019 [Internet]. Quito; 2020. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccionagropecuaria-continua-2019/>
2. Tapia RVRL. LA LECHE DEL ECUADOR - Historia de la lechería ecuatoriana [Internet]. Effecto Studio; 2015. Disponible en: http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/La%20Leche%20del%20Ecuador.pdf
3. SIPROLE (Sistema de Información Pecuaria del Litoral Ecuatoriano). Reporte de productividad láctea en la provincia de Cotopaxi [Internet]. Quito; 2023. Disponible en: <http://siprole.gob.ec/informes/2023/cotopaxi.pdf>
4. MAGAP (Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca). Censo agropecuario del cantón Pujilí. Quito; 2022.
5. FAO. Ganadería y producción lechera en América Latina: situación y perspectivas [Internet]. Roma; 2021. Disponible en: <https://www.fao.org/>
6. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Informe FAO analiza fortalezas y brechas de la producción láctea en América Latina y el Caribe [Internet]. 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/1617635/>
7. De Investigación P, Salazar J, Alexandra C, Bustamante V, Andrés B, Mg M. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES MEDICINA VETERINARIA.
8. MAGAP. Diagnóstico de sistemas de riego en Cotopaxi. 2023.
9. SIPROLE. Reporte estacionalidad productiva. 2022.
10. Torres L, others. Efecto del estrés ambiental en expresión génica de bovinos. Arch Latinoam Nutr. 2021;71(3):189–201.

11. Pallete AE. Mejoramiento del ganado vacuno de leche [Internet]. 2a ed. Lima: Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA); 2005. 20 p. Disponible en: <https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/46d72cbd-6729-4e0c-853d9d44c336c38f/content>
12. Wattiaux MA. Principios de selección [Internet]. Esenciales lecheras: reproducción y selección genética. Disponible en: <https://www.medvet.una.ac.cr/posgrado/gen/invest/15selec.pdf>
13. Wattiaux MA. Principios de selección. En: Esenciales lecheras: reproducción y selección genética [Internet]. Madison, WI: Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera, Universidad de Wisconsin-Madison; 2001. p. 57–68. Disponible en: <https://www.medvet.una.ac.cr/posgrado/gen/invest/15selec.pdf>
14. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Mejoramiento genético bovino: fundamentos y estrategias para sistemas de producción en Chile [Internet]. Osorno; 2010. (Boletín INIA N.º 129). Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/59aec57d-12e6-4b3a-9e230dd3107c51ec/content>
15. Bourdon RM. Understanding Animal Breeding. 2a ed. Upper Saddle River: Prentice Hall; 2000.
16. Ochoa Galván P. Mejoramiento genético del ganado bovino productor de leche. Ciencia Veterinaria [Internet]. 1991;5:67–85. Disponible en: <https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/cienciavet/revistas/CvVol5/CVv5c4.pdf>
17. Asociación Argentina Criadores de Hereford. Importancia de una evaluación genética [Internet]. Disponible en: <https://www.hereford.org.ar/web/programas-deregistro/programa-de-evaluacion-genetica/importancia-de-una-evaluacion-genetica/>
18. Arias RA, Mader TL, Escobar PC. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. Arch Med Vet [Internet]. 2008;40(1):7–22. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301732X2008000100002
19. Falconer DS, Mackay TFC. Introduction to Quantitative Genetics. 4a ed. Harlow: Longman; 1996.
20. Liu Y, Li X, Zhang B, Chen Y, Zhang L, Wang Y, et al. Genetic parameters and genome-wide association studies of milk production traits in Chinese Holstein cattle. Front Genet [Internet]. 2021;12:714949. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8425307/>
21. Ríos-Utrera A, Calderón-Robles RC, Rosete-Fernández J V, Lagunes-Lagunes J. Correlaciones genéticas y fenotípicas entre características reproductivas de

- vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana* [Internet]. 2010;21(2):1–11. Disponible en:
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S165913212010000200002
22. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Índice de mérito total: herramienta para la selección de reproductores en programas de mejoramiento genético [Internet]. Osorno; Disponible en:
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/8bed916e-bf45-4720-80837cedb284e0d0/content>
23. Jiménez JA. Índices de mérito total: por qué son diferentes. *Frisona Española* [Internet]. 2017;(213):70–5. Disponible en:
<https://www.revistafrisona.com/Portals/0/articulos/n213/indices%20merito%20total.pdf>
24. J. Henning, Oregon State University. The breeding of hop.
25. ACPSIE. ¿Qué es una Valoración Genética? [Internet]. [citado el 24 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.criadorespsi.es/IMAGES/PDF/FAQVGs.pdf>
26. Falconer DS, Mackay TFC. *Introduction to Quantitative Genetics*. Longman. 1996;4th.
27. Bourdon RM. *Understanding Animal Breeding*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 2000;2nd.
28. Mrode RA. *Linear Models for the Prediction of Animal Breeding Values*. Wallingford: CABI. 2014;3rd ed.
29. Blasco RA. *LOS PESOS ECONÓMICOS EN MEJORA GENÉTICA ANIMAL* 1. Vol. 91. 1995.
30. Groen AF. Breeding goal and economic values. En: *Proceedings of the Workshop on Genetic Improvement of Functional Traits in Cattle (GIFT) – Breeding Goals and Selection Schemes*. Wageningen: CABI. 2000;1–9.
31. Franco Cañón O. La lúdica y el diseño, un escenario económico emergente en el contexto nacional y regional. *Tendencias*. el 30 de junio de 2020;21(1):110–29.
32. Wood Jeffrey. *Escenarios económicos*.
33. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). *Mejoramiento genético bovino: fundamentos y estrategias para sistemas de producción en Chile* [Internet]. Osorno; 2010. Disponible en:
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/59467afb-81c8-411a-bf3a2550fbd23862/content>
34. González C, Ríos R, Martínez A, Rodríguez J, Pérez M. Tendencia genética y fenotípica de la producción de leche en vacas Holstein en el Valle del Cauca, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [Internet]. 2021;22(1):12–22.

- Disponibile en:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01228706202100100012
35. González C, Ríos R, Martínez A, Rodríguez J, Pérez M. Estudio y evolución de la calidad de leche cruda en tambos del Valle del Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* [Internet]. 2007;20(2):129–37. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/864/86421189005.pdf>
36. Universidad de Cuenca. Evaluación de parámetros productivos en vacas lecheras en Cotopaxi [Internet]. 2024. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstreams/47caf2a7-252c-49d2-884a1fd549108adc/download>
37. Ponce R, Hernández J, García L. Evaluación de la calidad físico-química de la leche cruda mediante lactodensímetro y corrección por temperatura. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2016;7(4):587–97.
38. Fajardo AF, Hidalgo L V, Peraza RN. Determinación de la densidad de la leche como parámetro de calidad. *Revista Científica Veterinaria* [Internet]. 2009;5(4):39–43.
- Disponibile en:
<https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/cienciavet/revistas/CvVol5/CVv5c4.pdf>
39. Ganadería.com. La reproducción en la vaca [Internet]. Disponible en: <https://www.ganaderia.com/destacado/La-reproduccion-en-la-vaca>
40. Muñoz-Berrocal M, Sánchez JP, Cervantes AC. Evaluación de la producción de leche ajustada a 305 días en bovinos lecheros de trópico alto. *Rev Med Vet (Bogota)* [Internet]. 2021;1(1):12–20. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012287062021000100012
41. López-Villalobos N, Garrick DJ, Holmes CW. Factores que afectan la duración de la lactancia y la producción de leche corregida a 305 días en vacas Holstein. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal.* 2000;8(1):31–40.
42. Gasque Gómez RM. Reproducción bovina [Internet]. 2016. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/245Reproduccion_bovina.pdf
43. Hernández Ferrer D, Chirinos Z, Carabaño MJ. La longevidad de la vaca: importancia económica y análisis genético. *Frisona Española* [Internet]. 2017;(131):56–
9. Disponible en: <https://www.revistafrisona.com/Portals/0/articulos/n131/A13103.pdf>
44. Michigan State University Extension. What is the buzz around cow longevity? [Internet]. 2022. Disponible en: <https://www.canr.msu.edu/news/what-is-the-buzzaround-cow-longevity>

45. Portal Veterinaria. Relaciones entre la longevidad del ganado lechero y la eficiencia técnica de las granjas [Internet]. Disponible en: <https://www.portalveterinaria.com/rumiantes/articulos/39178/relaciones-entre-lalongevidad-del-ganado-lechero-y-la-eficiencia-tecnica-de-las-granjas.html>
46. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Efecto de la utilización de lodo de palma, melaza, urea y banano en la producción de leche en vacas mestizas en la provincia de Guayas [Internet]. Guayaquil; 2019. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15197/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO171.pdf>
47. Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos (AMMVEB). Guía completa: Cómo calcular la ganancia diaria de peso en bovinos [Internet]. 2024. Disponible en: <https://ammveb.net/guia-completa-como-calcular-laganancia-diaria-de-peso-en-bovinos/>
48. Marco E. Genética y resistencia frente a las enfermedades [Internet]. Barcelona: AV Paragon; 2021. Disponible en: <https://www.avparagon.com/pdfs/documentos/genetica/geneticaimalaltiaaword.pdf>
49. Hidalgo Cumbicos MR, Vargas González ON, Vite Cevallos HA. Análisis situacional de la actividad ganadera en la parroquia Palmal del cantón Arenillas. Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas [Internet]. 2020;3(2):124–30. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=721778106017>
50. Universidad Técnica de Ambato. Dptico N°20: Producción de leche en Ecuador [Internet]. Ambato; 2020. Disponible en: https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/dipticos/Diptico_N20.pdf
51. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2012 [Internet]. Quito; 2013. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Presentaciones/PRESENTACION-Espac.pdf>
52. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2021 [Internet]. Quito; 2022. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccionagropecuaria-continua-2019/>
53. Revista Gestión. Sector lácteo en Ecuador: una mirada a los desafíos y oportunidades [Internet]. 2024. Disponible en: <https://revistagestion.ec/analiseconomia-y-finanzas/sector-lacteo-en-ecuador-una-mirada-los-desafios-yoportunidades/>
54. Veterinaria Digital. La producción de leche en Ecuador [Internet]. Disponible en: <https://www.veterinariadigital.com/articulos/la-produccion-de-leche-en-ecuador/>
55. Centro de la Industria Láctea del Ecuador (CIL). Entre 2022 y 2023, el consumo de lácteos en Ecuador cayó un 12% [Internet]. 2024. Disponible en:

- <https://www.cilecuador.org/post/entre-2022-y-2023-el-consumo-de-1%C3%A1lcteos-en-ecuadorcay%C3%B3-un-12>
56. El Comercio. Ganaderos de Cotopaxi tienen laboratorio para mejorar calidad de la leche [Internet]. 2024. Disponible en:
<https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/ganaderos-leche-cotopaxi-tienenlaboratorio.html>
 57. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2021 [Internet]. Quito; 2022. Disponible en:
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/Bolet%C3%ADn_tecnico_ESPAC_2022.pdf
 58. La Gaceta. Producción lechera en Cotopaxi se ha reducido en un 50% por falta de alimentos [Internet]. 2024. Disponible en:
<https://lagaceta.com.ec/produccionlechera-en-cotopaxi-se-ha-reducido-en-un-50-por-falta-de-alimentos/>
 59. Tipantuña J. Evaluación técnica económica de la producción de leche bovina de las parroquias San Isidro y Cochaloma del cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi [Internet]. Latacunga; 2022. Disponible en:
<https://repositorio.utc.edu.ec/items/f8c83342-4db5-4eaf-a8d1-b3a5093b40c6>
 60. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Ganaderos de Pujilí aprenden buenas prácticas de ordeño y mejoramiento de la calidad de leche [Internet]. 2022. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/ganaderos-de-pujili-aprendenbuenas-practicas-de-ordeno-y-mejoramiento-de-la-calidad-de-leche>
 61. Rodríguez I. Identificación de mastitis subclínica y bacterias causantes en bovinos productores de leche en Cotopaxi [Internet]. Disponible en:
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/8082949>
 62. De Vries A. Economic trade-offs between genetic improvement and longevity in dairy cattle. *Theriogenology*. 2020;150:237–44.
 63. Galindo J, González D, Scull I. Factores que limitan la eficiencia reproductiva en ganaderías de pequeña escala. *Revista México Ciencias Pecuarias*. 2021;12(1):201–17.
 64. VanRaden PM, Cole JB. The genomic evaluation system in the United States: Past, present, future. *J Dairy Sci*. 2016;99(9):7351–61.
 65. González R, Pérez L. Prevalencia de enfermedades bovinas en sistemas campesinos andinos. *Revista Ecuatoriana de Medicina Veterinaria*. 2022;17(3):112–25.
 66. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Manual de nutrición bovina para la Sierra. Quito; 2020.
 67. Zambrano M, Ortiz K. Efectividad del pastoreo rotativo en trastornos digestivos bovinos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 2023;34(4):e24567.

68. Espinoza M, Quiroz F, Ramírez C. Evaluación del crecimiento y ganancia diaria de peso en bovinos criollos en sistemas de producción campesina del altiplano. *Rev Cient Agropecu.* 2021;35(2):112–9.
69. Barros P, Fernández M. Factores que afectan la ganancia diaria de peso en bovinos de doble propósito en zonas tropicales. *Rev Colomb Cienc Pecu.* 2021;34(1):85–94.
70. FAO. Buenas Prácticas Ganaderas en Sistemas Familiares. Santiago; 2020.
71. Benavides P, others. Genetic parameters of daily weight gain in dairy cattle. *Anim Reprod Sci.* 2020;223:106631.
72. González C, Ríos R, Martínez A, Rodríguez J, Pérez M. Tendencia genética y fenotípica de la producción de leche en vacas Holstein en el Valle del Cauca, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria.* 2021;22(1):12–22.
73. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Mejoramiento genético bovino: fundamentos y estrategias para sistemas de producción en Chile [Internet]. Osorno; 2010. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/59aec57d-12e6-4b3a-9e230dd3107c51ec/content>
74. Galindo J, Scull I, González D. Impacto de programas de mejora genética en ganaderías tropicales de pequeña escala. *Livestock Research for Rural Development* [Internet]. 2021;33(7). Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd33/7/33113jg.html>
75. Bourdon RM. *Understanding Animal Breeding.* 2a ed. Prentice Hall; 2000.
76. Falconer DS, Mackay TFC. *Introduction to Quantitative Genetics.* 4a ed. 1996;
77. VanRaden PM. Efficient methods to compute genomic predictions. *J Dairy Sci.* 2008;91(11):4414–23.
78. García-Ruiz A, Cole JB, VanRaden PM, Wiggans GR, Ruiz-López FJ, Van Tassell CP. Changes in genetic selection differentials and generation intervals in US Holstein dairy cattle as a result of genomic selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2016;113(28):E3995–4004.
79. Parmar P, LNTJME et al. The effect of compositional changes due to seasonal variation on milk density and the determination of season-based density conversion factors for use in the dairy industry. *Foods.* 2020;9(8):1004.
80. Dymnicki E, GMWAPKSEST. Changes in cow's milk composition and physical properties during the uninterrupted milking process. *Anim Sci.* 2015;54(1):15–25.
81. Boichard D, Ducrocq V. Estimation of reliability for genetic evaluations in dairy cattle. *Genet Sel Evol.* 2005;37(4):529–42.
82. FAO. Buenas Prácticas Ganaderas en Sistemas Familiares [Internet]. Santiago; 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/3/cb1333es/cb1333es.pdf>

83. SIPROLE. Costos de producción y márgenes económicos en ganadería lechera de Cotopaxi. Quito: Sistema de Información Pecuaria del Ecuador.