



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

Título:

**“FACTORES DE RIESGO Y MECANISMOS
FISIOPATOLÓGICOS ASOCIADOS A LA PRESENTACIÓN
DEL MAL DE ALTURA EN BOVINOS EXPUESTOS A
ALTITUDES ELEVADAS”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Médica
Veterinaria

Autora:

Quilumba Molina Johana Estefania

Tutor:

Molina Cuasapaz Edie Gabriel

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Johana Estefania Quilumba Molina, con cédula de ciudadanía No. 1756033492, declaro ser autora del presente proyecto de investigación: “Factores de riesgo y mecanismos fisiopatológicos asociados a la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas”, siendo el Médico Veterinario y Zootecnista Mtr. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, Tutor 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, 7 de agosto del 2023

Johana Estefania Quilumba Molina

Estudiante

C.C. 1756033492

MVZ. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, Mtr.

Docente Tutor

C.C. 1722547278

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 QUILUMBA MOLINA JOHANA ESTEFANIA, identificada con cédula de ciudadanía **1756033492** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA 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. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Medicina Veterinaria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Factores de riesgo y mecanismos fisiopatológicos asociados a la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas”, 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: Marzo 2019 - Agosto 2019

Finalización de la carrera: Abril 2023 – Agosto 2023

Aprobación en Consejo Directivo: 25 de mayo del 2023

Tutor: Médico Veterinario y Zootecnista Mtr. Edie Gabriel Molina Cuasapaz

Tema: “Factores de riesgo y mecanismos fisiopatológicos asociados a la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas”

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, **LA 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 **LA 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 **LA 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 **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

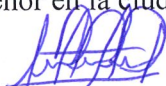
CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

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 7 días del mes de agosto del 2023.



Johana Estefania Quilumba Molina

LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“FACTORES DE RIESGO Y MECANISMOS FISIOPATOLÓGICOS ASOCIADOS A LA PRESENTACIÓN DEL MAL DE ALTURA EN BOVINOS EXPUESTOS A ALTITUDES ELEVADAS”, de Quilumba Molina Johana Estefania 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, 7 de agosto del 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Edie Gabriel Molina Cuasapaz', written over a horizontal line.

MVZ. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, Mtr.

DOCENTE TUTOR

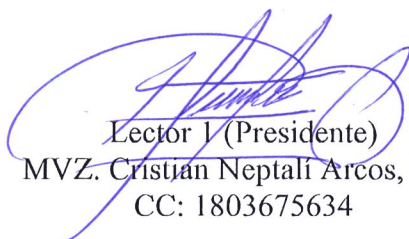
CC: 1722547278

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

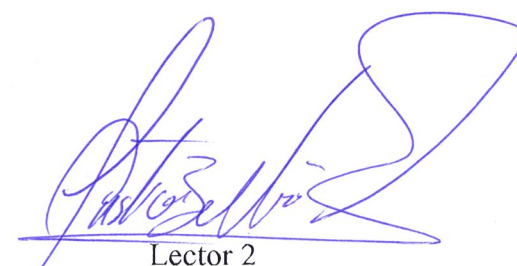
En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Quilumba Molina Johana Estefania, con el título del Proyecto de Investigación: “FACTORES DE RIESGO Y MECANISMOS FISIOPATOLÓGICOS ASOCIADOS A LA PRESENTACIÓN DEL MAL DE ALTURA EN BOVINOS EXPUESTOS A ALTITUDES ELEVADAS”, 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 realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

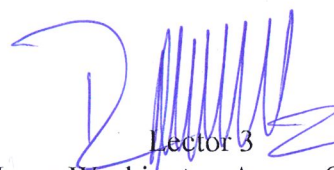
Latacunga, 7 de agosto del 2023



Lector 1 (Presidente)
MVZ. Cristian Neptali Arcos, Mg.
CC: 1803675634



Lector 2
MVZ. Cristian Fernando Beltran, Mg.
CC: 0501942940



Lector 3
Dr. Jorge Washington Armas Cajas, Mg.
CC: 0501556450

AGRADECIMIENTO

A la hacienda L&G FARM que me abrió sus puertas y creyó en mí.

Al Dr. Gabriel Molina Cuasapaz por ser mi tutor y guía. Por inculcarnos valores y por ayudarnos a que siempre se debe buscar soluciones para mejorar el bienestar de la gente, a pesar de la dificultad que exista en el país. Gracias por demostrarme que si se puede.

Eternamente agradecida con todas las personas que se encontraron dispuestas a enseñarme y compartirme sus conocimientos. Por la paciencia y el apoyo brindados en tropiezos y caídas, ya que, sin sus palabras de aliento no habría alcanzado a cumplir esta meta.

Johana Estefania Quilumba Molina

DEDICATORIA

Al señor de mi alma, el que me acompañó a todos lados sin temor a nada. Sin ti no lo hubiera logrado, así que esto es nuestro, te amo.

A mis padres, que han luchado desde el principio de mi vida, trabajando duro y constante para que nunca nos falte nada a mis hermanos y a mí.

A mi hermano Diego, por los momentos más entretenidos que he pasado en mi vida que sin darse cuenta, me ha brindado estabilidad emocional en tiempos duros, así también las fuerzas para continuar y poder ser el orgullo de la familia.

Johana Estefania Quilumba Molina

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

TÍTULO: “FACTORES DE RIESGO Y MECANISMOS FISIOPATOLÓGICOS ASOCIADOS A LA PRESENTACIÓN DEL MAL DE ALTURA EN BOVINOS EXPUESTOS A ALTITUDES ELEVADAS.”

AUTORA: Quilumba Molina Johana Estefania

RESUMEN

Una de las principales enfermedades que se presenta por la exposición de vacas a altitudes por encima de los 2500 msnm es el mal de altura. A pesar del negativo impacto económico y productivo que ocasiona esta enfermedad, no existe un indicador, en lo investigado, que permita saber la tolerancia del mal de altura en los bovinos, antes de que ocurran los síntomas clínicos irreversibles, por lo tanto, se plantea estimar un indicador necesario para prevenir el mal de altura. La investigación se realizó en la Hacienda L&G FARM en la provincia de Pichincha, donde se obtuvieron a variables peso (kg), categoría, condición corporal (Cc), altura a la cruz (cm), días abiertos (DO), litros por lactancia (leche 305) y pulso venoso (Pv) como factores de riesgo y, presión arterial sistólica (PAS), presión arterial diastólica (PAD), presión arterial media (PAM), frecuencia del pulso (FP), saturación de oxígeno (spO₂) y temperatura (T) como mecanismos fisiopatológicos en vacas que están expuestas a altitudes elevadas. Para la correlación entre las variables obtenidas, se hizo un análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) para identificar los factores de riesgo y mecanismos fisiopatológicos asociados con el mal de altura. Se encontró correlación entre el peso, altura a la cruz y producción de leche con el porcentaje de saturación de oxígeno, dicha correlación presentó diferencias significativas al resto de variables analizadas, concluyendo que los factores de riesgo en bovinos muestreados son los bovinos pesados, altos, y con producciones superiores a 5000 litros de leche por lactancia teniendo más probabilidades de presentar mal de altura, por el mayor gasto energético y la dificultad de respirar que tienen a causa de una altitud elevada. En cuanto a la medición de las variables para encontrar los mecanismos fisiopatológicos, PAD y PAM tienen correlación de 0,81 concluyendo que animales con valores altos en PAD (>80 mmHg) y PAM (>90 mmHg) son mecanismos fisiopatológicos involucrados con la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas en la hacienda L&G FARM.

Palabras clave: altitud, mal de altura, hipoxia, correlación, vacas.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

TITLE: "RISK FACTORS AND PHYSIOPATHOLOGICAL MECHANISMS ASSOCIATED TO THE PRESENTATION OF ALTITUDE SICKNESS IN CATTLE EXPOSED TO HIGH ALTITUDES".

AUTHOR: Quilumba Molina Johana Estefania

ABSTRACT

One of the main diseases that occurs due to the exposure of cows to altitudes above 2500 meters above sea level is altitude sickness. Despite the negative economic and productive impact caused by this disease, there is no indicator, in the research, that allows to know the tolerance of altitude sickness in cattle, before irreversible clinical symptoms occur, therefore, it is proposed to estimate a necessary indicator to prevent altitude sickness. The research was carried out at the Hacienda L&G FARM in the province of Pichincha, where the variables weights (kg), category, body condition (Cc), height at withers (cm), open days (DO), liters per lactation (milk 305) and venous pulse (Pv) were obtained as risk factors and, systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), mean arterial pressure (MAP), pulse rate (FP), oxygen saturation (spO₂) and temperature (T) as pathophysiological mechanisms in cows that are exposed to high altitudes. For the correlation between the variables obtained, a Multiple Correspondence Analysis (MCA) was performed to identify the risk factors and pathophysiological mechanisms associated with altitude sickness. A correlation was found between weight, height at withers and milk production with the percentage of oxygen saturation, this correlation presented significant differences to the rest of the variables analyzed, concluding that the risk factors in sampled cattle are heavy cattle, tall, and with productions greater than 5000 liters of milk per lactation having more likely to present altitude sickness, due to the greater energy expenditure and difficulty breathing they have due to a high altitude. Regarding the measurement of the variables to find the pathophysiological mechanisms, DBP and MAP have a correlation of 0.81, concluding that animals with high values in DBP (>80 mmHg) and MAP (>90 mmHg) are pathophysiological mechanisms involved with the presentation of bad altitude in cattle exposed to high altitudes in the L&G FARM farm.

Key words: altitude, altitude sickness, hypoxia, correlation, cows.

INDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INDICE DE CONTENIDOS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INDICE DE IMÁGENES.....	xiii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
3.1 Directos.....	3
3.2 Indirectos.....	3
4. PROBLEMÁTICA.....	3
5. OBJETIVOS.....	4
5.1 Objetivo General.....	4
5.2 Objetivos Específicos.....	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS.....	4
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	5
7.1 Interacción genotipo-ambiente en la fisiología y la producción animal.....	5
7.2 Impacto en la producción de leche.....	6
7.3 Alteraciones fisiológicas en respuesta a la altitud.....	7
7.3.1 Hipoxia.....	7
7.3.2 Fisiología de la hipoxia.....	7
7.3.3 Tipos de Hipoxia.....	8
7.4 Enfermedad del mal de altura.....	10
7.5 Fisiología del mal de altura.....	10
7.6 Factores de riesgo.....	12
7.6.1 Rasgos Morfológicos.....	12
7.6.2 Parámetros genéticos.....	13
7.7 Mecanismos de adaptación al mal de altura.....	14

7.7.1	Importancia de la adaptación.....	14
7.7.2	Signos y síntomas del mal de altura.....	14
7.7.3	Estrategias de manejo y prevención.....	15
7.8	Evaluación fisiológica del mal de altura en vacas	15
7.8.1	Métodos para la evaluación fisiológica del mal de altura en vacas	15
7.8.2	Método no invasivo para la toma de constantes fisiológicas.....	16
8.	PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS	16
9.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	17
9.1	Área de investigación	17
9.2	Ubicación de zonas estratégicas	17
9.2.1	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	17
9.2.2	Tipos de investigación.....	18
9.3	Materiales.....	18
9.4	Colecta de información.....	19
9.4.1	<i>Obtención del peso y altura a la cruz</i>	19
9.4.2	<i>Obtención de constantes fisiológicas</i>	20
9.4.3	<i>Evaluación de la condición corporal y pulso venoso</i>	21
9.4.4	<i>Variables Medidas</i>	22
9.4.5	Análisis Estadístico.....	23
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	24
10.1	Factores de riesgo	24
10.2	Mecanismos Fisiopatológicos	28
10.3	Correlaciones entre variables obtenidas.....	31
10.4	Análisis de Correspondencia Múltiple.....	33
10.5	Protocolo de prevención del mal de altura para la hacienda L&G FARM.....	34
11.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS).....	37
11.1	<i>Impacto Técnico</i>	37
11.2	<i>Impacto Social</i>	37
11.3	<i>Impacto Ambiental</i>	37
11.4	<i>Impacto Económico</i>	37
12.	COSTOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	38
13.	CONCLUSIONES	39
14.	RECOMENDACIÓN.....	39
15.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
16.	ANEXOS.....	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Actividades y sistema de tareas en relación con los objetivos planteados

Tabla 2: Ubicación geográfica de la Hacienda L&G FARM

Tabla 3: Ubicación geográfica de los semovientes

Tabla 4: Variables independientes obtenidas

Tabla 5: Variables dependientes obtenidas

Tabla 6: Costos del proyecto de investigación

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Toma de constantes fisiológicas con el oxímetro NONIN 8600 V

Figura 2: Dispersión de los individuos en los factores de riesgo analizados

Figura 3: Dispersión de los individuos en los mecanismos fisiopatológicos analizados

Figura 4: Correlación entre las variables factores de riesgo

Figura 5: Correlación entre las variables fisiopatológicas

Figura 6: Gráfico de ACM bidimensional. Correlaciones entre las variables

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Hacienda L&G FARM

Imagen 2: Ubicación de los animales en producción y de vientre (Rejo)

Imagen 3: Ubicación de terneros (1A)

Imagen 4: Aplicación de medicamentos (vitaminas) en vacas y terneros

Imagen 5: Transporte de animales al ordeño

Imagen 6: Toma de parámetros

Imagen 7: Registro de la información de manera computarizada en Microsoft Excel.

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

Factores de riesgo y mecanismos fisiopatológicos asociados a la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas.

Fecha de inicio: abril 2023

Fecha de finalización: septiembre 2023

Lugar de ejecución: Hacienda L&G FARM, Quito-Ecuador

Unidad Académica que auspicia: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

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:

- **Tutor:** Molina Cuasapaz Edie Gabriel, MVZ. Mtr (Anexo 1)
- **Estudiante:** Quilumba Molina Johana Estefania (Anexo 2)

Área de Conocimiento:

3109.02 Ciencias Agrarias, Ciencias Veterinarias, Genética

Línea de investigación:

Salud Animal

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Fisiología Animal y Reproducción

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la serranía ecuatoriana, la ganadería de altura, a más de 2500 msnm, es una práctica común en la mayoría de las producciones pecuarias(1). A pesar de las condiciones climáticas que esta región presenta, los productores realizan actividades agropecuarias, transformando al páramo en tierras de cultivo y pastoreo para poder subsistir a condiciones fuera de lo común. Asimismo, a estas condiciones se han adaptado los animales, entre ellos, las vacas, quienes han modificado sus vías metabólicas para producir bajo este ambiente (2). Esta adaptación, en el Ecuador lleva alrededor de 500 años (3), las vacas reconocidas como “criollas” han experimentado selección natural, transmitiéndose caracteres biológicos como la fortaleza de generación a generación (2). Sin embargo, hace 100 años aproximadamente se empezó la importación de bovinos con mayor rendimiento productivo, mayor cantidad de leche, al Ecuador (4), este incremento en la producción costó que las vacas presentaran diversas patologías, dado que, existe una correlación negativa entre la producción y la salud de los animales (5). Una de las principales enfermedades caracterizada por la exposición de vacas a altitudes por encima de los 2500 msnm es el mal de altura (6). Esta enfermedad limita el transporte de oxígeno, afectando el sistema respiratorio, circulatorio y cerebral. La enfermedad progresa rápidamente causando la muerte del animal, después de haber presentado los principales síntomas como pulso venoso positivo y edema en la parte central del cuerpo (6). La prevalencia del mal de altura en el Ecuador se estima en 20% (7), ocasionando pérdidas económicas. A pesar del negativo impacto económico y productivo que ocasiona esta enfermedad, no existe un indicador que permita saber la tolerancia del mal de altura en los bovinos antes de que ocurran los síntomas clínicos, en su mayoría irreversibles. La mayoría de los productores observan a vacas con mal de altura cuando es difícil de ser tratado. Por lo tanto, se plantea analizar los factores de riesgo y los mecanismos fisiopatológicos de esta enfermedad con el fin de estimar un indicador necesario para prevenir el mal de altura. Si se logra adelantar los acontecimientos con la medición que se va a realizar en los animales antes de que ocurra la enfermedad, ésta sería una herramienta valiosa para dar un tratamiento antes de la presentación de la sintomatología.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

3.1 Directos

- Ganaderos que produzcan leche de vaca a altitudes superiores a los 3000 msnm

3.2 Indirectos

- Investigadores principales del proyecto, requisito previo a la obtención del título de médico veterinario

4. PROBLEMÁTICA

En el Ecuador, en la parte rural, las personas dependen mayoritariamente del sector ganadero para poder obtener recursos y propiciar sus necesidades sociales(8). No obstante, sus producciones son insostenibles(9). Debido a varios factores, entre ellos, la falta de registros y datos para la toma de decisiones. Por ejemplo, en la selección de reproductores, ya que, generalmente, las vacas han sido seleccionadas por la cantidad de leche producida, sin embargo, si dicho incremento conlleva un mayor costo de producción continua la insostenibilidad. Es decir, los productores optan por buscar vacas que produzcan más, sin tomar en cuenta las condiciones ambientales de sus predios. El ambiente juega un rol crucial en el mantenimiento y producción de las vacas. El principal factor ambiental que influye en la producción de leche en la región interandina ecuatoriana es la altitud(10). Generalmente, las producciones pecuarias se encuentran alejadas de la zona urbana, no obstante, con la expansión de la población y, por ende, la necesidad de explotar los recursos para el consumo humano, se amplían las zonas destinadas a espacios comerciales y residenciales(11). Esto ha limitado la actividad ganadera, ya que para continuar con la producción, y garantizar la seguridad alimentaria, cada vez más se emplea zonas con mayor altitud, en donde se presentan niveles menores al 80% de presión parcial de oxígeno lo cual limita la capacidad de oxigenación de los animales, además la temperatura fluctúa entre los 0 y 20 grados centígrados(12). Lo cual ocasiona retos fisiológicos extremos, que desequilibran la homeostasis y ocasionan procesos patológicos que generan pérdidas económicas notorias como la disminución en la tasa de preñez y tasa de crecimiento, la capacidad productiva y finalmente la muerte de

los animales. Por lo tanto, se plantea analizar los factores de riesgo y mecanismos fisiopatológicos de los animales expuestos a 3700 msnm.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

- Determinar los factores de riesgo y mecanismos fisiopatológicos asociados a la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas

5.2 Objetivos Específicos

- Identificar los factores de riesgo asociados con la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas.
- Analizar los mecanismos fisiopatológicos involucrados en la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas.
- Proporcionar recomendaciones para la prevención y tratamiento del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas.

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

Tabla 1: Actividades y sistema de tareas en relación con los objetivos planteados

Objetivo 1	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Identificar los factores de riesgo asociados con la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas.	Revisión de literatura y estudios de campo.	Datos de los factores de riesgo como edad, raza, condición corporal.	Base de datos con la información obtenida

Objetivo 2	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Analizar los mecanismos fisiopatológicos involucrados en la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas.	Exploración de mecanismos fisiopatológicos detrás del mal de altura en bovinos.	Obtención de parámetros fisiológicos.	Analizar los efectos de la exposición a altitudes elevadas
Objetivo 3	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Proporcionar recomendaciones para la prevención y tratamiento del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas.	Revisión de los tratamientos para la prevención del mal de altura	Protocolo de prevención del mal de altura	Recomendaciones sobre nutrición, aclimatación, administración de medicamentos y monitoreo constante de la salud de los animales.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1 Interacción genotipo-ambiente en la fisiología y la producción animal

En producciones pecuarias, el equilibrio y la estabilidad de los animales deben estar directamente relacionados con las condiciones ambientales en las que habitan, ya que para poder reproducirse, producir y mantenerse, necesitan encontrarse en condiciones que propicien el bienestar animal (13). La variación de estos factores ocasionalmente provoca alteraciones en la homeostasis, lo que provoca cambios que suelen usar ciclos de

retroalimentación y hacen que estímulos específicos envíen respuestas que ajustan las actividades internas del organismo para que pueda estabilizarse y mantener una condición estable y constante(14). Los mecanismos de autorregulación permiten la homeostasis. Cuando la homeostasis falla, el organismo intenta compensar este desequilibrio, provocando una sobrecarga en éste observando dos posibles escenarios: una compensación efectiva que trae bienestar y equilibrio al animal o una compensación ineficiente que provoca enfermedad o muerte. En ese contexto, la transformación del páramo y áreas con mayor altitud a tierras de pastoreo para el ganado vacuno ha sido uno de los principales efectos de la sobrepoblación en las actividades agropecuarias, lo que ha provocado problemas de salud en los animales(15). Estos hechos han impulsado el analizar la relación entre el ambiente y la producción de animales, con el objetivo de comprender los aspectos fisiológicos y de comportamiento en condiciones de estrés climático y encontrar una solución a estos problemas. En consecuencia, las siguientes, son las respuestas fisiológicas del ganado vacuno al estrés climático:

7.2 Impacto en la producción de leche

El bienestar animal se refleja en un entorno en el cual, la perturbación, los estímulos dañinos e la incomodidad de los animales afectan negativamente la rentabilidad y la producción. Los elevados niveles de estrés que se presentan en los animales hacen que el bienestar se desbalance y se desequilibre. Por ejemplo, la activación del eje hipotalámico-pituitario-adrenal(HPA) es la respuesta al estrés, generado por la variación en la temperatura ambiental, déficit nutricional (13), entre otros, provoca elevados niveles de cortisol, provoca inhibición de la hormona liberadora de gonadotrofina (GnRH) desde el hipotálamo hasta la hipófisis, afectando la producción de estradiol folicular, causando problemas como la interrupción de las tasas de concepción y la ausencia de estro(16). Asimismo, el estrés es generado por la ovulación y la implantación, lo que reduce la preñez y aumenta el intervalo entre partos(17). En consecuencia, disminución en la producción y sostenibilidad de las explotaciones. En resumen, las variaciones de temperatura ambiental generan que los animales requieren de más energía para poder mantenerse y producir, y si a esto se le agrega las veces en el que el animal camina de un potrero a otro con senderos poco accesibles, genera un gasto extra de energía aparte de la que necesita. Es indispensable un manejo adecuado más la suplementación extra de alimento como de minerales, para evitar desequilibrios en la homeostasis de los

minerales.

7.3 Alteraciones fisiológicas en respuesta a la altitud

7.3.1 Hipoxia

El ganado vacuno puede verse comprometido a los cambios de altitud, alterando la eficacia con la que éstos se podrían adaptar a entornos hipóxicos. La hipoxia es definida como la ausencia de oxígeno en el organismo, y este oxígeno no llega en cantidades suficientes para mantener la homeostasis, puede darse por un suministro inadecuado de oxígeno a los órganos y tejidos debido a un bajo aporte del mismo en la sangre(18), o así mismo, a la exposición de los animales a zonas con escasos niveles de oxígeno, y puede presentarse de forma aguda o crónica debido a la existencia de tejidos que toleran la hipoxia durante más tiempo sin presentar ningún tipo de síntoma, o por el contrario, tejidos que resultan bastante dañados por estos bajos niveles.

Es una condición en donde el organismo se encuentra en juego. Las consecuencias que tienen los animales frente a entornos hipóxicos provocan respuestas negativas al sistema cardiovascular como pulmonar. Los principales síntomas observados en animales con disminución en el suministro de oxígeno son el incremento de la frecuencia respiratoria, cardíaca, incremento en la presión arterial y vasodilatación(19).

7.3.2 Fisiología de la hipoxia

Para que los diferentes sistemas del organismo puedan funcionar correctamente, el suministro de oxígeno, sustratos de células y eliminación de CO₂ son los procesos esenciales para mantener la integridad de los aparatos cardiovasculares y respiratorio una concentración adecuada de hemoglobina y el aporte de gas inspirado cantidades suficientes y proporcionadas de gas y oxígeno, para que éste pueda ser distribuido adecuadamente por todos los órganos. Un desequilibrio y disponibilidad insuficiente de oxígeno para las células inhibe la fosforilación oxidativa y aumenta la glucólisis anaeróbica y la producción de Adenosín Trifosfato (ATP) es insuficiente para mantener la energía y tener un equilibrio homeostático(20). La interrupción de la membrana celular permite la entrada descontrolada de iones de Ca y la activación de proteasas fosfolipasas y proteasas dependientes provocando edemas celulares que activan el proceso de muerte

celular(21).

Durante este proceso, la hipoxia provoca una producción insuficiente de energía, lo que hace que las arteriolas se dilaten por la abertura de los canales de potasio sensibles al ATP (KATP) en las células del músculo liso. La despolarización es provocada por los conductos de K, lo que activa los conductos de Ca, aumentando el Ca citosólico que provoca la contracción de las células musculares lisas. La poscarga ventricular derecha se produce cuando la constricción pulmonar desvía la sangre de las áreas más ventiladas hacia las áreas más oxigenadas de los pulmones(22).

7.3.3 Tipos de Hipoxia

Los siguientes son los tipos de hipoxia que se pueden encontrar

7.3.3.1 Hipoxia hipóxica (hipoxia arterial):

La hipoxia es el resultado de una deficiencia de oxígeno intracelular en los tejidos y la sangre del organismo, lo que provoca alteraciones y mal funcionamiento de los tejidos debido a la insuficiencia energética causada por reacciones oxidativas. La hipoxia hipóxica es la causa más común de este estado, pero también puede ser causada por la exposición a un ambiente aeronáutico o con poca oxigenación, donde se produce una reducción parcial de la presión de oxígeno como resultado de la disminución de la presión atmosférica como respuesta a la altitud. La presión parcial de oxígeno disminuye cuando incrementa la altitud de 2500 msnm, lo que afecta las funciones fisiológicas del ganado(23). El complejo proteico, llamado como, factor inducible por Hipoxia o proteínas HIF (Hypoxia-Inducible Factor) desempeñan un papel esencial en la fosforilación oxidativa, que produce sustancias energéticas (ATP), casi todos los órganos y tejidos dependen del oxígeno arterial para su buen funcionamiento, crecimiento y supervivencia. La glucólisis se produce de forma limitada debido al desequilibrio y la disminución del oxígeno, lo que resultará en una producción insuficiente de ATP en lugar de la fosforilación.

7.3.3.2 Hipoxia anémica

Implica una caída en el nivel de hemoglobina o bien alteraciones en la curva de disociación. En estos casos, la presión arterial de oxígeno (PaO₂) puede ser normal pero el aporte tisular se compromete por disminución en el contenido o déficit en la entrega de oxígeno (19).

7.3.3.3 Hipoxia estancada

La insuficiencia cardíaca y el shock cardiogénico son las patologías más frecuentes que llevan a este tipo de hipoxia. Disminuye la entrega de oxígeno (DO₂) por bajo gasto cardíaco.

La hipoxia circulatoria es secundaria a una reducción en el flujo sanguíneo de causa general (caída del volumen minuto) o local (obstrucciones arteriales). Finalmente, en ciertas circunstancias, las células pueden ser incapaces de utilizar el oxígeno adecuadamente a pesar de que éste llegue en cantidad suficiente (hipoxia "disóxica"). Esto puede darse en la intoxicación por cianuro, y también se ha descrito una inadecuada utilización del oxígeno en la sepsis y en el síndrome de dificultad respiratoria aguda del adulto(18).

7.3.3.4 Hipoxia citotóxica:

Es la alteración de la respiración celular que impide la utilización del oxígeno. Se puede observar en la sepsis en donde se afecta el metabolismo oxidativo celular por disfunción mitocondrial. Se encuentra hipoxia a pesar de una PaO₂ tisular normal o elevada, secundaria a un aumento de la DO₂. Los mecanismos involucrados en el desarrollo de hipoxia citopática tienen que ver con la inactivación del piruvato deshidrogenasa, producción de óxido nítrico, producción de ion superóxido y peroxinitrito, desacople de la fosforilación oxidativa y activación de enzimas nucleares(24).

7.4 Enfermedad del mal de altura

En el Ecuador, una parte del páramo, es dedicada al pastoreo del ganado, con precipitaciones entre 500 y 1000mm³ por año, temperaturas por debajo de los 10 grados centígrados con cantidades altas de lluvias, heladas, granizadas y fuertes vientos todo el año especialmente en los meses de junio a agosto, lo que ocasiona retos fisiológicos extremos, causando descompensaciones y falta de oxigenación en los animales por la altitud y el medio ambiente en el que se encuentran, dando como consecuencia la enfermedad del mal de altura. El mal de altura causa graves pérdidas económicas y productivas en animales expuestos a altitudes elevadas y por esta falta de oxigenación, el corazón derecho trabaja en exceso, llevando a una insuficiencia cardíaca, donde se observa pulso venoso positivo, edema generalizado entre otros síntomas(25).

7.5 Fisiología del mal de altura

7.5.1.1 Cambios vasculares

La hipoxia afecta directamente al tono vascular de los vasos de resistencia pulmonar y sistémica y aumenta la ventilación y la actividad simpática a través de la estimulación de los quimiorreceptores periféricos. Se producen interacciones entre los efectos directos de la hipoxia sobre los vasos sanguíneos y las respuestas mediadas por quimiorreceptores en la circulación sistémica y pulmonar(26). La vasodilatación hipóxica durante las primeras horas de exposición tiende a anular la vasoconstricción simpática en la circulación sistémica, lo que resulta en una presión arterial sistémica estable o ligeramente reducida. A continuación, durante al menos tres o cuatro semanas, la presión arterial y la resistencia vascular sistémica aumentan debido al aumento de la actividad simpática y a la reducción de la hipoxia tisular asociada con la aclimatación. La administración de oxígeno, α -bloqueantes o β -bloqueantes, no invierte completamente el aumento de la presión arterial, lo que indica que puede haber otros mecanismos involucrados(27). El descubrimiento de animales con una respuesta ventilatoria hipóxica aguda enérgica también tiene una respuesta de presión arterial elevada a la hipoxia, y puede explicar en parte la variación en la respuesta de la presión arterial a la hipoxia entre los mismos.

El aumento de la ventilación en la circulación pulmonar puede modular la vasoconstricción pulmonar hipóxica (VPH) hasta cierto punto al reducir la hipoxia

alveolar y, debido a la alcalosis respiratoria. El aumento de la frecuencia cardiaca ya sea en actividad o estado de reposo, la contractilidad miocárdica, el gasto cardiaco, la actividad simpática y el repliegue vagal están vinculados durante el inicio de exposición de animales a altitudes elevadas y éstas son las consecuencias de la hipoxia por mal de altura(27). La frecuencia cardiaca aumenta con la altitud, y se puede observar que la circulación coronaria está afectada por la exposición a estas altitudes. Las arterias coronarias epicárdicas se dilatan y el flujo sanguíneo disminuye, en comparación a zonas que se encuentran en el nivel del mar. Esto se debe a que la extracción miocárdica de oxígeno aumenta para mantener la oxigenación miocárdica(27). La contractibilidad cardiaca de los animales expuestos aumenta durante la primera etapa de exposición, lo que resulta en un aumento del gasto cardiaco para el consumo de oxígeno(28). Sin embargo, durante los primeros días de exposición a estas altitudes, el gasto cardiaco no cambia y el consumo de oxígeno disminuye en 1 % por cada 100 metros a partir de los 3000 msnm y, el volumen sistólico disminuye durante los primeros días de exposición. La diuresis y la reducción del volumen plasmático durante las primeras horas o semanas de exposición, pueden reducir el trabajo del ventrículo izquierdo y la presión, lo que resulta en una caída del volumen sistólico del 20%(28).

7.5.1.2 Hipertensión arterial pulmonar hipóxica

Los animales sufren estrés hipóxico por la utilización de la vasodilatación para mejorar el transporte y suministro de oxígeno en el organismo. En respuesta a la hipoxia y la presión en las arterias pulmonares, los pulmones aumentan la vasoconstricción, lo que provoca hipertensión pulmonar. El edema pulmonar resulta de la entrada de líquido en los pulmones en consecuencia del aumento de la presión arterial(29). La hipoxia hipóxica conduce a una remodelación vascular. En este proceso, las arterias y venas tienen la capacidad de adaptar su tamaño, o por el contrario, reducirlo ante estímulos crónicos como la hipertensión pulmonar(30). El remodelador vascular cumple un papel fundamental para el entendimiento de la fisiopatología de la enfermedad, y puede ser irreversible y persistir a pesar de la aclimatación que se puede dar a los animales en caso de tener mal de altura. Según estudios, se ha mencionado que el óxido nitroso desarrolla la hipertensión arterial pulmonar ya que, la hipoxia disminuye la síntesis de óxido nitroso (31). El óxido nitroso es el encargado de regular el tono vascular, en donde éste manda señales de acción para que las células vasculares provoquen el aumento del guanosin

monofostato cíclico que causa la vasodilatación, y con cantidades insuficientes de óxido nítrico, el remodelador vascular se activaría causando esta patología(32). Los síntomas son similares a las otras causas de hipertensión pulmonar no hipóxica: tos, fatiga, hinchazón, insuficiencia cardíaca(33).

7.5.1.3 *Insuficiencia cardíaca*

La insuficiencia cardíaca es el resultado del sobreesfuerzo de los pulmones y el aumento en la carga de trabajo del corazón en el ciclo cardíaco. Esta patología se caracteriza por el estrechamiento vascular pulmonar debido al aumento del tamaño de la adventicia arterial, lo que conduce a un aumento progresivo de la resistencia vascular pulmonar, y consecuentemente la sobrecarga del ventrículo derecho que causa la insuficiencia cardíaca(34). Como resultado final de la insuficiencia cardíaca, se da la insuficiencia cardíaca congestiva (ICC), aquí se produce la alteración de los mecanismos que ayudaban a compensar la carga de trabajo del corazón, provocando efectos adversos en el miocardio en el gasto cardíaco. Aquí ya se observan los síntomas irreversibles y característicos de la enfermedad del mal de altura tales como distensión, pulso venoso positivo y edema subcutáneo. Estos hallazgos clínicos ya forman parte del diagnóstico definitivo de presencia a animales con esta enfermedad (35).

7.6 Factores de riesgo

7.6.1 *Rasgos Morfológicos*

Generalmente, se busca que las razas bovinas presenten ciertas características para la adaptación y resistencia en el medio ambiente en el que se encuentren sin afectar la capacidad de crecimiento, y éstos no sean susceptibles a enfermedades (36). Aún no se ha evidenciado registros oficiales de rasgos morfológicos que permitan la adaptación de animales a ambientes opuestos a los que se encontraban, pero se sabe que factores como la alimentación están influenciados e involucran a los criadores para que los animales estén en equilibrio constante (37). Sin embargo, se han realizado investigaciones para determinar si el fenotipo propio de los rasgos morfológicos como la altura a la cruz, el perímetro cardíaco y la longitud del cuerpo en animales grandes son rasgos de adaptación, diseñando un registro de animales tolerantes a las influencias ambientales a través de

genotipado y mediante el análisis de los rasgos, se toma en cuenta la medición del tamaño corporal de animales en producción en incluso en crecimiento, por ser indicadores tempranos para desarrollo y longevidad de los animales. Mediante el análisis de marcadores polimorfismo de nucleótido único (SNP), se evidenció correlación entre los rasgos morfológicos y la adaptabilidad en genes y SNP de bovinos con una media de altura a la cruz de 125 cm (37).

7.6.1.1 Piel

La característica principal que presenta la piel en seres vivos es la protección de órganos y sistemas, organizada en capas: epidermis y dermis(38). La dermis es la capa gruesa constituida por tejido conectivo atravesada por vasos y nervios (38). El aspecto externo que presenta la piel puede indicar problemas circulatorios. En enfermedades del corazón, los nervios y vasos sanguíneos están relacionados con la hipertensión arterial. La disminución del flujo sanguíneo en los pequeños vasos que se encuentran situados en la piel, se altera por la falta de oxigenación en la sangre, aumentando el flujo sanguíneo específicamente para ese tejido, por la familia de proteínas HIF. El proceso de transcripción de las proteínas HIF intervienen en el proceso de regulación del oxígeno y vascularización, aumentando el flujo sanguíneo en situaciones de desequilibrio del organismo(39) y, en pérdida de proteínas HIF que se encuentran en mayor proporción en la piel, implicadas en respuesta de hipoxia, causan alteraciones en la frecuencia respiratoria y bombeo de la sangre(40). Se ha demostrado que la epidermis basal es hipóxica a comparación con el tejido dérmico, mostrando una estabilización de las proteínas del factor de transcripción inducible a la hipoxia(41) .

7.6.2 Parámetros genéticos

Existen animales que son propensos a desarrollar hipoxia a gran altitud, con hipertensión pulmonar grave mientras que otros presentan sólo una hipertensión alta, es decir, los primeros son susceptibles a la enfermedad mientras que los otros son resistentes o adaptados al medio ambiente(42). En consecuencia, se observa dominancia de animales resistentes a la altitud y la incidencia de la enfermedad disminuye en las siguientes generaciones. Esto implica que la presencia del mal de altura en los bovinos es un rasgo genético que puede transmitirse de generación a generación (42).

7.7 Mecanismos de adaptación al mal de altura

7.7.1 Importancia de la adaptación

La capacidad que tiene el ganado para adaptarse y producir de manera eficiente desempeña un papel importante en las producciones pecuarias. La adaptabilidad es clave en las producciones, y las ventajas que se obtienen de estos animales incluyen: sostenibilidad con el aprovechamiento y conservación de los recursos, productos de buena calidad y bienestar animal. La selección genética de ganado que sea tolerante a estas enfermedades es una de las principales técnicas que se utiliza en las producciones pecuarias, dando como resultado a animales con características de adaptabilidad al medio ambiente sin disminuir pérdidas económicas y naturales(43).

A gran altitud, la aclimatación es la principal característica, desarrollo, comportamiento o fisiología que da como resultado de una exposición al ganado bovino a cambios en el ambiente, en donde éste ha sufrido cambios compensatorios, mejorando las oportunidades para sobrevivir frente a situaciones que han sido estresantes. También llamada “adaptación fenotípica” (44). Durante este proceso, los animales han sufrido una serie de respuestas fisiológicas para poder enfrentar a grandes elevaciones con disminución del oxígeno. El aumento del número de glóbulos rojos es uno de los cambios que se dan durante la aclimatación a la altitud, ya que se produce una disminución del volumen celular, por lo que la cantidad de glóbulos rojos aumenta, haciendo que la hemoglobina fije el oxígeno y ayuda a evitar la viscosidad en la sangre(45).

Una menor disponibilidad de oxígeno estimula al mayor, la frecuencia respiratoria lo que aumenta la exhalación de CO₂, resultando que los problemas acido-base se contrarresten derivados de la hiperventilación. Los bovinos pueden desarrollar mutaciones haciendo que los residuos de aminoácidos de la Hb, y la saturación de oxígeno aumente ayudando a compensar las pérdidas.

7.7.2 Signos y síntomas del mal de altura

La manifestación de los signos y síntomas en los bovinos puede ser diferente debido a las diferencias fisiológicas y factores como la edad, raza, sexo y genética. Uno de los signos del mal de altura en vacas es la dificultad para respirar o una respiración acelerada por la

falta de oxígeno, puede incluir fatiga, tos, debilidad y disminución en las actividades. En casos más graves, puede dar lugar a complicaciones como el edema pulmonar, subcutáneo o mandibular que se caracteriza por una acumulación de líquido en los pulmones, pecho o mandíbula y, en casos extraños edema cerebral bovino que se manifiesta con desorientación, comportamiento anormal y convulsiones.

7.7.3 Estrategias de manejo y prevención

Para que el ganado bovino pueda enfrentar las condiciones ambientales, se debe optar por medidas que permitan reducir el impacto negativo que el clima ocasiona en los animales como el acceso a agua: el agua es el elemento más importante en el organismo vivo, éste permite controlar la temperatura corporal del ganado bovino (46). El agua posee propiedades químicas y físicas para el proceso de termorregulación y mantenimiento de los animales. Cuando el clima ha cambiado, prácticamente en el verano, el consumo de agua se duplica a diferencia del invierno, donde los animales se encuentran con niveles de calor mayor que cualquier otro líquido o sólido que están presentes en el organismo bovino que, lo desechan mediante la orina y el sudor, por el contrario, su alto nivel de calor provee protección de congelamiento durante el invierno.

El transporte de animales y el movimiento de estos a cualquier sitio, al ordeño por ejemplo, puede incrementar el gasto energético a 5 megajulios (MJ) dependiendo los factores en los que se encuentre. Generalmente se evita el exceso a largas caminatas, o bien hacerlo con precaución, evitando la fatiga y estrés de los animales(47). El uso de sombras en los galpones para el ganado se puede realizar con árboles agrupados con el fin de disminuir la pérdida calórica, el viento y permite que los animales se refugien de la radiación solar, por lo general, los árboles se agrupan simulando un bosque.

7.8 Evaluación fisiológica del mal de altura en vacas

7.8.1 Métodos para la evaluación fisiológica del mal de altura en vacas

En la historia, la primera toma de muestra de presión arterial en grandes especies fue realizada en un equino por Stephen Hales en 1733(48). En 1861 Marey y Chaveau realizaron el primer cateterismo cardiaco en equino(48). Estos procedimientos permitieron que las mediciones hemodinámicas sean de especial interés en animales que

viven en altitud, ya que estos animales desarrollan patologías como la hipertensión pulmonar e insuficiencia cardiaca. Experimentaron en bovinos expuestos, para examinar la respuesta circulatoria a profundidad. Fue necesario experimentar y realizar investigaciones para comparar si las mediciones tenían diferencias en animales sanos con enfermos. No obstante, los métodos de esa época eran invasivos, y las personas encargadas en realizar los estudios empleaban fármacos tranquilizantes, sin tener conocimiento si los efectos dinámicos de los fármacos cambiarían los resultados (49). Por estos motivos, se han desarrollado métodos no invasivos que permiten determinar las respuestas vasculares, auscultando a animales de tal manera que se evite la alteración de las mediciones por fármacos y así también, el bienestar animal de éstos.

7.8.2 Método no invasivo para la toma de constantes fisiológicas

7.8.2.1 Oxímetro

Es un dispositivo no invasivo, no causa daño, ni modifica al animal sujeto a esta prueba. Es utilizado para medir y calcular la cantidad de oxígeno que está presente en la sangre e identificar a animales con enfermedades cardiovasculares, hipóxicos y con problemas en la saturación de oxígeno (50). El oxímetro funciona emitiendo una luz a través de un tejido o zona con perfusión sanguínea. El oxímetro es un dispositivo médico utilizado para medir la saturación de oxígeno en la sangre de un animal. Funciona emitiendo una luz a través de un tejido, generalmente mediante un sensor que se coloca en el lóbulo de la oreja, vulva o cualquier otra área con buena perfusión sanguínea(50).

8. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

H0: No existe una relación entre los factores de riesgo y los mecanismos fisiopatológicos involucrados en la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas.

H1: Existe una relación entre los factores de riesgo y los mecanismos fisiopatológicos involucrados en la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas.

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1 Área de investigación

Se realizó el levantamiento de datos durante el período abril-julio del 2023 en la hacienda L&G FARM. Esta explotación cuenta con una extensión territorial de 37 ha, zonas dedicadas al pastoreo de ganado bovino de leche.

Tabla 2 .- Ubicación geográfica de la Hacienda L&G FARM

Provincia: Pichincha
Cantón: Quito
Parroquia: La Ecuatoriana
Sitio: Hacienda L&G FARM
Latitud: 0°17'S
Longitud: 78°35'O

9.2 Ubicación de zonas estratégicas

La hacienda representa un número significativo de animales expuestos a altitudes elevadas.

Tabla 3 .- Ubicación geográfica de los semovientes

	Categoría	Altitud	N0
Animales de producción	Rejo	3719 msnm	
Animales de vientre	Vientre páramo	3719 msnm	
Terneros	1A	3082 msnm	

9.2.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

9.2.1.1 Método de la investigación

En la investigación se realizó la colecta de información de los bovinos semanalmente. Se valoró e identificó los diferentes parámetros como los factores de riesgo y constantes

fisiológicas de vacas que están expuestas a altitudes elevadas. En base a los resultados obtenidos, se hará un protocolo específico, proporcionando recomendaciones para el manejo y prevención del mal de altura.

9.2.2 Tipos de investigación

9.2.2.1 Método descriptivo

El objetivo de este método es describir las características de la población a estudiar y se emplea en caso de obtener poca información. Con el estudio de campo se obtuvo conocimiento del mal de altura, lo que permitió dar explicaciones a otros factores que guardan relación (51). En este caso, en el proyecto de investigación, se realiza la búsqueda de un indicador para predecir el mal de altura en las vacas.

9.2.2.2 Método comparativo

El método comparativo busca definir la muestra seleccionando casos paradigmáticos del mal de altura que se desea investigar, lo que permite comprender lo desconocido con lo conocido (52), es decir, en el proyecto de investigación, se realiza la identificación de los factores de riesgo y constantes fisiológicas (lo conocido), para encontrar un indicador del mal de altura en bovinos antes de que ocurran los síntomas por la falta de información en el Ecuador (lo desconocido).

9.3 Materiales

Semovientes

- Bovinos en producción
- Bovinos de vientre y secas
- Terneros

Equipos:

Equipo para el pesaje y medición de altura a la cruz

- Cinta bovinométrica
- Regla métrica

- Calibrador

Equipo para la toma de constantes

- NONIN 8600 V
- Oxímetro de pulso
- Sensor de temperatura
- Cable de interfaz 8600VI
- Cargador de batería

Otros materiales

- Teléfono celular
- Antiséptico (Yodo)
- Papel absorbente
- Jeringuillas
- Guantes ginecológicos
- Guantes de nitrilo
- Mascarilla
- Plástico
- Madera liviana y ligera
- Sogas
- Cuadernos y libretas
- Esferográfico

9.4 Colecta de información

9.4.1 Obtención del peso y altura a la cruz

Éste estudio se realizó con la aprobación de los propietarios de la hacienda antes de realizar cualquier manipulación al animal, con el compromiso de mantener el bienestar de los animales de la hacienda. No se realizó ninguna manipulación a la población y todas las vacas fueron medidas al menos 3 veces para la interpretación de las variables. Durante la ejecución del proyecto de investigación, se hizo un entrenamiento para verificar que los equipos funcionen adecuadamente y se recibió capacitaciones para el manejo de cada una de las vacas, donde se reflejó la intranquilidad y nerviosismo de las vacas en las tomas de las constantes fisiológicas. Al principio, se observó desconfianza por parte de las vacas

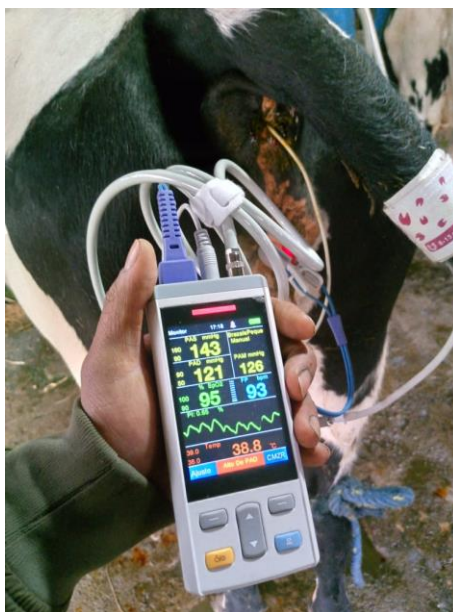
al realizar el procedimiento, el comportamiento de cada una era a la defensiva y solo se dejaban manejar por los trabajadores lo que resultaba dificultoso. Una vaca estresada puede significar alteraciones en las constantes fisiológicas a evaluarse, es por eso que al observarse esas situaciones, se decidió no molestarlas para evitar estrés.

Para realizar el pesaje y la medición de altura a la cruz en las vacas de producción, se ocupó una cinta bovinométrica y una regla métrica hecha de madera liviana y de fácil manejo. Al momento del ingreso de las vacas al ordeño mecánico, se esperó que éstas fueran manejadas por los trabajadores y, sin causar molestias en sus actividades de ordeño, se pesó y midió cuidadosamente la altura a la cruz a las vacas evitando estrés e incomodidad.

9.4.2 Obtención de constantes fisiológicas

Se midió la temperatura, saturación de oxígeno y presiones arteriales en los bovinos a lo largo del estudio: presión arterial sistólica (PAS), presión arterial diastólica (PAD), presión arterial media (PAM) y frecuencia de pulso (FP), tanto en vacas de producción (Rejo) como en terneros, con el oxímetro NONIN 8600 V. El dispositivo cuenta con tres sensores para la toma de temperatura, saturación de oxígeno y presión. Las vacas que se encuentran en producción, las mediciones se hicieron después de haber sido ordeñadas. Se colocó el brazalete de presión en la cola de los animales a la altura del corazón, éste es el primer paso ya que, la toma de presión suele demorarse al menos 3 minutos en arrojar resultados. A continuación, se introdujo el sensor de temperatura en el recto con lubricante para evitar lastimar al animal y por último se limpió y secó la vulva para ubicar el sensor de la saturación de oxígeno. Los resultados se muestran en la pantalla del oxímetro y, el tiempo en el cual se arrojan los resultados es de 3 a 4 minutos por vaca, ya que, por lo general, suele existir movilidad de las vacas lo que resulta demoroso. Con respecto a vacas de vientre y terneros, se les colocó en la manga para realizar las mediciones que se mencionaron anteriormente, ver Imagen 1.

Figura 1.- Toma de constantes fisiológicas con el oxímetro NONIN 8600 V



9.4.3 Evaluación de la condición corporal y pulso venoso

Para evaluar la condición corporal (Cc) y el pulso venoso (Pv) se visitó cada área donde se encontraban las vacas, sin perturbar sus actividades diarias. Se registró la Cc mediante observación visual general, examinando la espina dorsal, las costillas, el lomo, la pelvis y el área de la grupa. Se utilizó una escala de Cc de 1 a 5, donde 1 indica enflaquecido y 5 indica obeso. Se realizó una inspección visual de la vena yugular para evaluar el pulso venoso. Se determinó positivo cuando en los animales con la cabeza levantada y sin rumiar, se observa un incremento pulsátil de la yugular, y negativo cuando en la misma posición no se observa esa pulsatilidad.

Además, se colectó información acerca de la cantidad de leche producida de cada una de las vacas y se registró de manera computarizada, el nombre y la cantidad de leche en (Kg) que arroja la báscula en el ordeño, tomando en cuenta los eventos relacionados como el periodo de lactancia, enfermedades, parto, días abiertos entre otros.

9.4.4 Variables Medidas

Se realizó la transformación de las variables cuantitativas a cualitativas para el análisis de datos. Las variables medidas durante la investigación fueron:

Tabla 4.- Variables independientes obtenidas

<i>Variables Independientes</i>	<i>Escala Cualitativa</i>	<i>Interpretación Cuantitativa</i>
Peso	Pesada	Vacas de 466-905 kg
	Media	Vacas de 380-400 kg
	Ligera	Vacas de 300-350 kg
Categoría	Rejo	Vacas en producción
	Seco	Vacas de vientre y secas
	1A	Terneros y terneras
Condición corporal	Obeso	Cc 4-5
	Ideal	Cc 3-4
	Enflaquecido	Cc 1-3
Altura a la cruz:	Alta	135-150 cm
	Media	125-135 cm
	Baja	100-125 cm
Días abiertos:	Prolongados	Mayor de 140 días
	Aceptable	110-140 días
	Ideal	0-110 días
Litros por lactancia:	Alto	Mayor de 7.000 litros
	Ideal	5000-7000 litros
	Bajo	Menor de 5000 litros

Tabla 5.- Variables dependientes obtenidas

<i>Variables Dependientes</i>	<i>Escala Cualitativa</i>	<i>Interpretación Cuantitativa</i>
Pulso venoso	Positivo	
	Negativo	

PAS	Alto	Mayor de 140 mmHg
	Normal	100-140 mmHg
	Bajo	Menor de 100 mmHg
PAD	Alto	Mayor de 80 mmHg
	Normal	60-80 mmHg
	Bajo	Menor de 60 mmHg
PAM	Alto	Mayor de de 90 mmHg
	Normal	70-90 mmHg
	Bajo	Menor de 70 mmHg
FP	Taquicardia	Mayor a 80 lpm
	Normal	60-80 lpm
	Bradycardia	Menor de 60 lpm
Saturación de oxígeno	Aceptable	90-100%
	Bajo	85-90%
	Hipoxia	Menor de 85%
Temperatura	Alta	39-39,5 °C
	Normal	38-38,5 °C
	Hipotermia	Menor de 38 °C

9.4.5 Análisis Estadístico

Se utilizó Excel como programa de gestión de datos para facilitar el ingreso de la información obtenida. Una vez que se obtuvo todos los datos, se analizó y comparó para identificar los factores de riesgo. Se analizó la correlación entre las variables: peso (kg), categoría, condición corporal (Cc), altura a la cruz, días abiertos (DO), lactancia, litros por lactancia (leche 305), pulso venoso (Pv), presión arterial sistólica (PAS), presión arterial diastólica (PAD), presión arterial media (PAM), frecuencia del pulso (FP), saturación de oxígeno (spO2) y temperatura (T), mediante el Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM). Las asociaciones entre variables se representaron gráficamente. Las variables cercanas están correlacionadas estadísticamente, se identifica aquellas dimensiones que contienen la mayor parte de la variabilidad de los datos. Los factores producidos se interpretaron mediante tres coeficientes estadísticos: la inercia, el valor

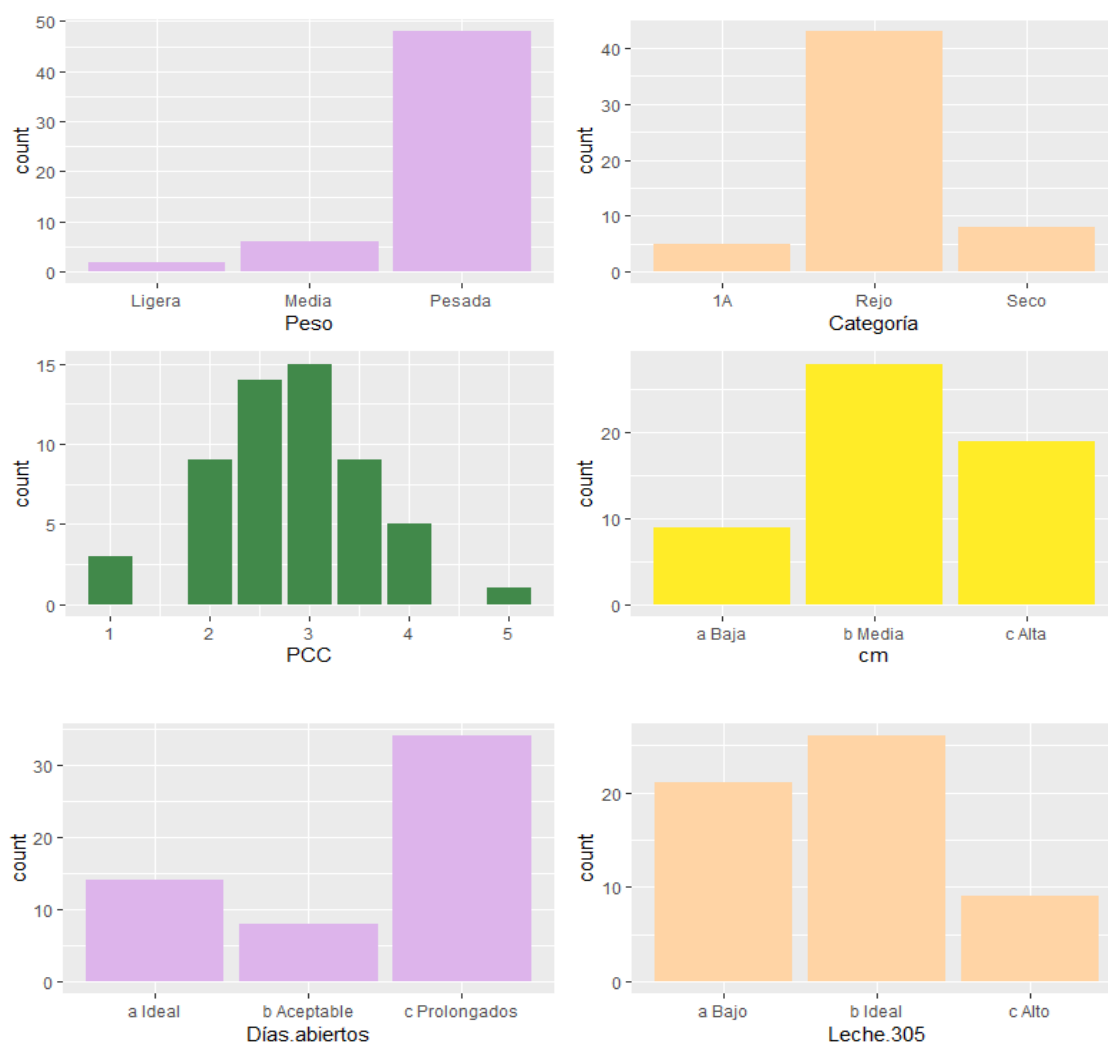
propio y las coordenadas de contribución factorial. La inercia corresponde a la varianza explicada de las dimensiones, el valor propio permite cuantificar la inercia que produce una variable específica y la contribución factorial considera el grado de influencia una variable en relación con el resto de las variables. En el ACM, la distancia entre dos o más variables se interpreta a través de las correlaciones entre éstas. En este estudio, el método MCA se realizó en el software R (53), mediante la biblioteca FactoMineR (54).

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

10.1 Factores de riesgo

Se consideró 6 variables como factores de riesgo asociados con el mal de altura en bovinos de altitud: peso, categoría, condición corporal (PCC), altura a la cruz (cm), Días abiertos y lactancia estimada a los 305 días (leche 305), ver Figura 2.

Figura 2.- Dispersión de los individuos en los factores de riesgo analizados



El peso fue considerado como factor de riesgo dado que a mayor peso es necesario mayor gasto energético (55), por lo tanto aquellas vacas consideradas pesadas (>466kg) necesitarían mayor movilización de recursos para suplir las necesidades de oxigenación de las células. Por otro lado, la hipoxia está involucrada en el desequilibrio del gasto energético y de la alimentación que acontece naturalmente en la etapa de enfermedad causando inestabilidad y empeoramiento en el organismo (56). El riesgo de presenciar deficiencia energética es mayor, porque el reparto de energía entre los tejidos y las glándulas mamarias causan el aumento de los ácidos grasos no esterificados (NEFA), aumento en la concentración de especies reactivadoras de oxígeno (ROS) y estrés oxidativo y para que una vaca pueda producir y mantenerse, necesita sus reservas corporales. La mayor proporción de las vacas fueron consideradas como pesadas.

La condición corporal de las vacas indica si la vaca está enflaquecida u obesa. Si una vaca está obesa (>4), es susceptible a enfermedades cardiovasculares por el aumento de adipocitos en sangre causando obstrucción arterial (57), por otro lado, una vaca con pérdida en la condición corporal (enflaquecida) es susceptible a estrés, deficiencia nutricional y enfermedades recurrentes(58). La mayor proporción presenta una escala de PCC de 3, escala considerada como ideal obteniendo CC normal en las vacas muestreadas.

Con respecto a los resultados obtenidos en la medición de la altura a la cruz, los valores arrojados indicaron que las mediciones del diámetro de venas cavas y pulmonares, arterias coronarias, y la aorta, tienen que ver con el resultado de a mayor altura, mayor diámetro vascular y mayor frecuencia cardiaca (59). Lo mencionado indica que se tomó en cuenta esta variable como factor de riesgo, debido a que la altura de las vacas indica adaptabilidad en altitud y las vacas medianas posiblemente logren mayor adaptabilidad que las altas por ser ligeras y con menor contenido de grasa corporal, ayudándoles a respirar fácilmente en altitud. Se visualizó vacas medianas en mayor proporción (125-135 cm) resultando que el funcionamiento cardiovascular y el diámetro vascular se encuentren con valores: venas cavas 4 a 6 mm, venas pulmonares 3 a 4 mm, arterias coronarias 2-3 mm y aorta 12 a 18 mm rangos considerados como normales (60), sin embargo, en vacas altas (135-150 cm) los valores se visualizaron altos por el tamaño corporal que presentaron obteniendo venas cavas 6 a 9 mm, venas pulmonares 4 a 6 mm, arterias coronarias 3 a 4 mm y aorta 12 a 18 mm respectivamente (60).

Los días abiertos es definido como el tiempo que transcurre del parto a la inseminación de una vaca (61). Generalmente, el periodo ideal del parto a la inseminación es de 90 a 110 días, transcurrido ese tiempo se considera como vaca problema (61). En una vaca problema se tiende a visualizar tiempos prolongados (>140 días), causando disminución en la fertilidad y producción de leche. El porcentaje de preñez en vacas que han sobrepasado los 140 días posparto es menor de 50%, a comparación del porcentaje de preñez en vacas que no sobrepasen los 90 días, resultando mayor del 80% (62). Gráficamente se visualiza días abiertos que sobresalen del periodo ideal y aceptable (>140 días). Se ha encontrado investigaciones mencionando que para aumentar la producción de leche, es necesario extender los días abiertos, sin embargo, se estima que por cada día abierto en una vaca, la pérdida de leche es de 4,9 kg, que anualmente resulta alrededor de 275 kg lo que es ineficaz hablando en términos económico(62). Algunos factores que influyen en la preñez de una vaca son la mala detección de la ovulación, el tiempo de inseminación y el nivel de producción de leche causando pérdidas económicas de la producción pecuaria.

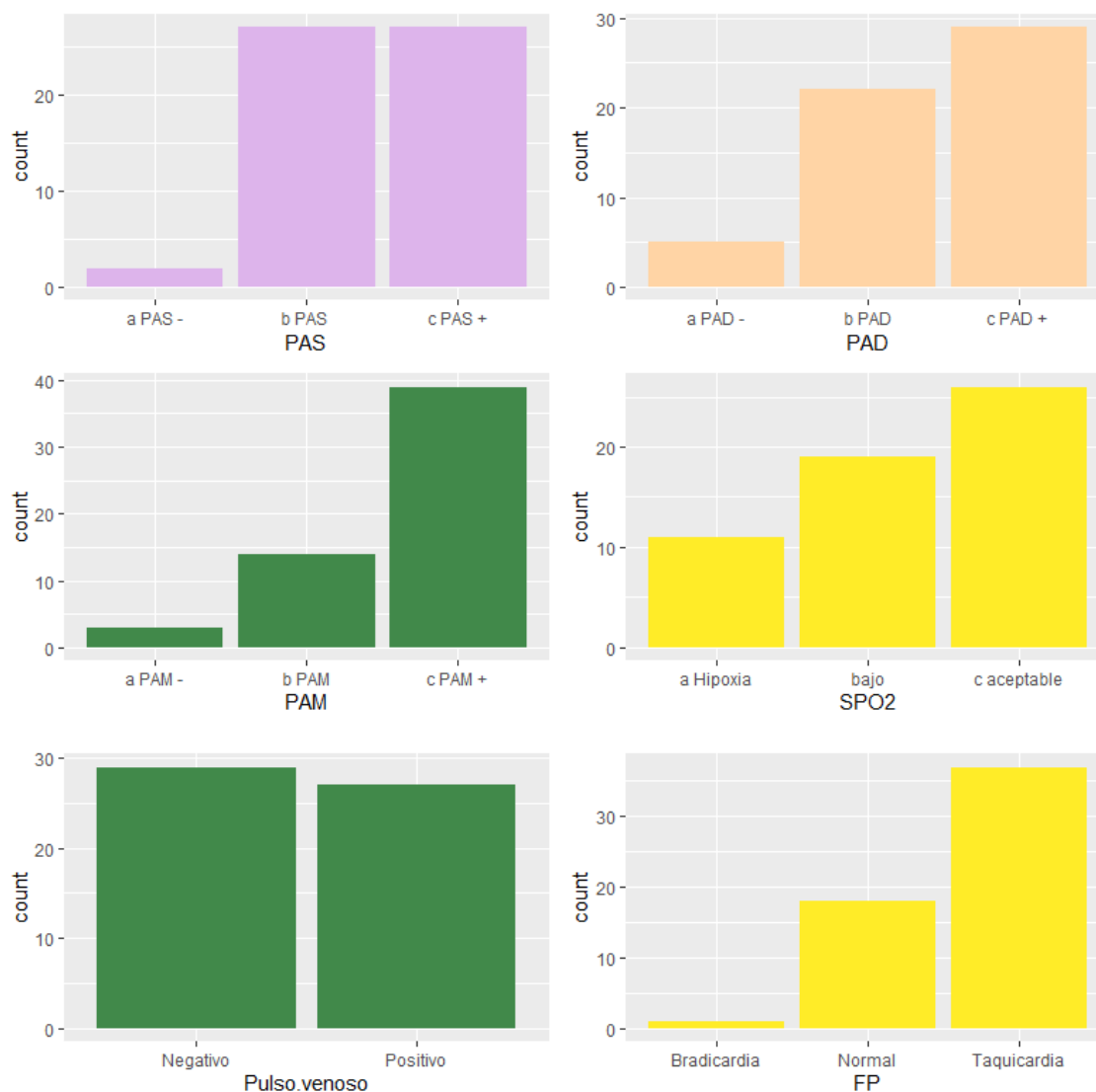
La variable leche 305 se define como la cantidad de leche que produce una vaca en los 305 días, y es principal en las producciones pecuarias debido a que las ganancias o pérdidas económicas dependen de la cantidad y producción de leche que cada vaca produce. Se consideró como producción baja a vacas que producen menos de 5000 litros, media 5000 a 7000 litros y alta mayor a 7000 litros. Por lo tanto, se toma como posible factor de riesgo los días de lactancia a los 305 días debido a que la energía influye en la producción de leche y vacas con deficiencia energética tienen problemas para producir leche. Durante el tiempo de transición de las vacas que ha sido expuestas a altitud, se pueden observar retos fisiológicos que afectan la producción, entre ellas la inhibición de la insulina y aumento de la gluconeogénesis hepática (63). En vacas de producción y aquellas que se encuentran recién paridas, los procesos metabólicos inducen a un equilibrio energético negativo, en donde la mayoría de las reservas energéticas se dirigen hacia las glándulas mamarias para producir leche y resto de tejidos para que la vaca se mantenga estable. Si una vaca se encuentra en desequilibrio con los procesos metabólicos conllevará al estrés oxidativo, viéndose afectado el rendimiento productivo y la salud por la competencia de componentes esenciales como las proteínas y la energía. Otro factor que afectan el rendimiento productivo en las vacas es la edad. La edad es el otro factor que causa disminución en el rendimiento productivo, donde se visualiza que el

rendimiento productivo tiene que ver con la edad de la vaca al primer parto. La edad al primer parto es un indicador de tiempo en el que la vaca alcanza su madurez sexual, su primer parto y ordeño. Si se obtiene vacas con partos menores a los 23 meses, la producción de leche se ve reducida a 1573 kg en la primera lactancia lo que representa 3427 kg, a comparación de vacas paridas entre los 24-26 meses donde su producción se encuentra en valores normales (5000 a 7000) (64). Por lo contrario, se ha mencionado que el retraso del primer parto puede aumentar la producción de leche sin embargo no se toma en cuenta la pérdida de la vida productiva de la vaca y hablando en términos económicos, el retraso en el primer parto por cada mes se pierde entre 50 y 75 dólares (64). En la figura se observa que la mayor proporción de vacas se encuentran produciendo entre 5000 a 7000 litros, valor dentro del rango ideal. Sin embargo, se visualiza una pequeña proporción de vacas que producen menos de 5000 litros. Una posible causa en la obtención de estos resultados podría ser: la edad de las vacas ya que por lo general, la longevidad puede afectar la producción de leche por el contrario, la edad al primer parto, por el adelanto o retraso de la fecha de parto, gestión, genética y enfermedades.

10.2 Mecanismos Fisiopatológicos

Se consideró 6 variables como mecanismos fisiopatológicos involucrados con el mal de altura en bovinos de altitud: PAS, PAD, PAM, FP y SPO2 y T, ver Figura 3.

Figura 3.- Dispersión de los individuos en los mecanismos fisiopatológicos analizados



El PAS está involucrado en síntomas que presentan las vacas cuando tienen mal de altura. Se tomó como posible factor de riesgo porque éste mide la presión que ejerce el flujo sanguíneo en las arterias durante la contracción del corazón causando presión en la cámara ventricular, permitiendo ingresar el flujo sanguíneo por la aorta (65), la cual si se visualiza valores altos (>140 mmHg), indican problemas a nivel cardiovascular, debido al aumento de la actividad simpática que causa desbalance autonómico, resultando una hipertensión pulmonar, seguido de una insuficiencia cardíaca (66). Se observa en la

figura que PAS y PAS+ se encuentran considerablemente iguales, donde la presión baja posee un valor de 66 mmHg y alta de 243 mmHg.

El PAD se encarga de medir la resistencia que tienen las arterias para el paso de flujo sanguíneo (67). Se toma como posible factor de riesgo ya que al evidenciar descenso severo de PAD en las vacas, existe un aumento en el gasto cardíaco y la susceptibilidad de rigidez muscular en vacas, causando hipotensión por no transportar suficiente oxígeno a tejidos como el corazón y cerebro. El PAD bajo no tiene influencia con la edad pero si con el peso corporal. Si se observa PAD bajo en vacas jóvenes el aumento del gasto cardíaco, volumen sistólico y aumento en la rigidez de las arterias pueden ser reversibles, debido a que el PAD se presenta en vacas jóvenes con mayor peso corporal que en vacas con peso ideal. Con respecto a encontrar un PAD bajo en vacas longevas no significa que el riesgo de presentar problemas de rigidez arterial (cardiomiopatía) sean irreversibles, por el contrario, al evidenciar un PAD mayor o alto, las vacas si presentasen cardiomiopatía. En la figura se observa una mayor proporción de vacas en PAD+ que PAD.

El PAM es el indicador medio del PAS y PAD. Los rangos de la presión arterial media de las vacas y terneros muestreados variaron levemente, desde un mínimo de 60 a un máximo de 107 mmHg, ver Figura 2. La media de las presiones altas fue de 112 mmHg mientras que las normales fueron de 81 mmHg.

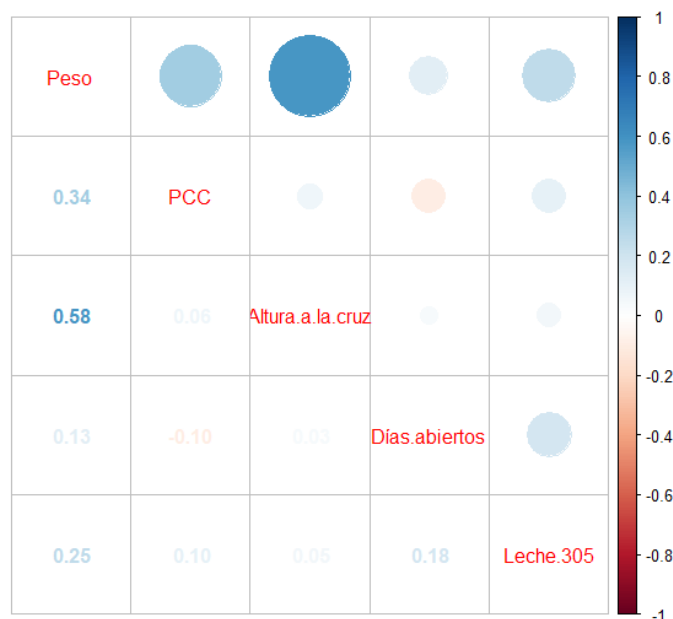
La saturación de oxígeno indica la cantidad de oxígeno que se encuentra en la sangre arterial. Es tomado como posible factor de riesgo ya que la obtención de resultados hipóxicos (<85%), puede ocasionar que los órganos empiecen a deteriorarse causando síntomas asociados con el mal de altura como los cambios neurológicos, inquietud, convulsiones y cefalea. También puede ocasionar hiperventilación y densidad capilar por la insuficiencia en la cantidad de oxígeno y el flujo sanguíneo transportado a los tejidos, resultando problemas a nivel de sistema nervioso central que aumenta la fatiga muscular a nivel máximo (68). Las actividades cotidianas que realizan las vacas como el caminar para alimentarse por ejemplo, la reducción en el porcentaje de saturación de oxígeno reducida al 20% (68), no les va a permitir realizar sus actividades cotidianas debido a las condiciones hipóxicas en las que se encuentran. En la gráfica se presenta los diferentes rangos de saturación de oxígeno medidos, aceptable (90-100%), bajo (85-90%) e hipoxia (<85%) obteniendo una mayor proporción de vacas con SPO2 aceptable, seguido de SPO2 bajo y una pequeña proporción con hipoxia.

El pulso venoso positivo es el resultado del flujo sanguíneo inverso a la contracción final durante la diástole y expansión de la válvula auriculoventricular derecha durante la diástole (69). Se toma como factor de riesgo el pulso venoso, ya que al existir pulso venoso positivo en la vena yugular, indicará que las vacas tienen insuficiencia cardíaca. Sin embargo, se debe identificar entre pulsos positivos verdaderos y pulsos positivos falsos durante la evaluación. Hay ocasiones en las que los evaluadores identifican pulsos positivos cuando la vaca está con la cabeza y el cuello paralelos al suelo, donde la pulsación se observa como una vibración que va desde el tórax hasta el cuello cuando la vaca eleva la cabeza, desapareciendo la pulsación y resultando pulso venoso positivo falso. Para evaluar de manera adecuada el pulso venoso positivo verdadero, se debe observar a vacas quietas, la vena yugular, identificando la fuerza con la que pasa el flujo sanguíneo, que en ocasiones hasta se visualiza palpaciones en la vena yugular. En la Figura 2 no se observa diferencias entre los rangos Negativo y Positivo, sin embargo, se visualizó mayor proporción de pulso venoso positivo en vacas de producción. Las posibles causas podrían ser las mencionadas anteriormente.

La frecuencia de pulso en condiciones hipóxicas, las alteraciones en la frecuencia cardíaca resultan un aumento en la presión arterial (70). Se toma esta variable como posible factor de riesgo, ya que existe una respuesta del corazón en vacas frente a hipoxia, la sobre estimulación de cuerpos carotídeos y aórticos. Los cuerpos carotídeos y aórticos sobre estimulados provocan aumento en la frecuencia cardíaca (taquicardia) durante la ventilación mecánica, causando lesiones a nivel pulmonar resultando estiramiento pulmonar cíclico (70). La sobre estimulación de cuerpos carotídeos puede producir paro cardíaco antes que taquicardia, sin embargo para evitar el paro cardíaco los cuerpos aórticos actúan aumentando la frecuencia cardíaca y no permite que exista un paro cardíaco (71). Los cuerpos aórticos son sensores que detectan los niveles de oxígeno y osmolaridad en la sangre que los irriga en donde si observa alteraciones a nivel cardiovascular, también participan en la sobre estimulación. En la figura 2 se observa que la mayoría de las vacas presentan taquicardia por la reducción del flujo sanguíneo en el corazón y la excesiva inflación de los pulmones debido al estiramiento pulmonar por los cuerpos carotídeos y aórticos sobre estimulados.

10.3 Correlaciones entre variables obtenidas

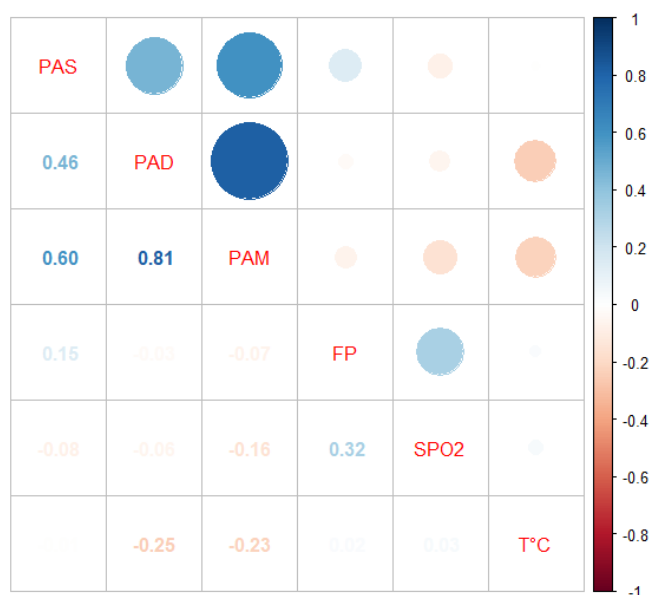
Figura 4.- Correlación entre las variables factores de riesgo



En la figura 4, se toma únicamente a vacas de producción para poder analizar las variables peso, PCC, Altura a la cruz, Días abiertos y leche 305. Se encuentra una mayor correlación entre variables Peso y Altura a la cruz, obteniendo mayor proporción de vacas pesadas (>466kg) con altura a la cruz de 125 a 135 correspondientes a la media y 19 vacas en el rango Alto con 135 a 150 cm. A continuación, se observa correlación de 0,34 entre el peso y la condición corporal de cada una de las vacas muestreadas. Tanto el peso, la altura a la cruz y la condición corporal van de la mano debido al estrés ambiental que se presenta en altitud, causando que las vacas aumenten el consumo de alimento para compensar la energía gastada en la producción y mantenimiento o así también, por el aumento en los niveles de cortisol resultando estrés que para calmarla entran en un periodo de ansiedad, obteniendo un exceso en las reservas energéticas y como resultado final, se presentan vacas obesas con hipoventilación que conduce a la hipoxia, presentando insuficiencia cardiaca. Con respecto a la altura a la cruz, generalmente se observa en la revisión literaria que vacas altas son las que resisten a la altitud en comparación con las vacas medianas que están con peso ideal (72). En condiciones ambientales que se encuentran la mayoría de las producciones pecuarias en la serranía ecuatoriana, los animales que tienen este tipo de altura a la cruz, no pueden adaptarse a estos factores por ser altas por lo que requieren mayor consumo en alimentación, mantenimiento y energía (73). Cabe señalar que se

observan razas de bovinos como Brown Swiss, Jersey adaptarse a altitudes que oscilan entre 3600 a 4800 msnm por tener rasgos morfológicos como mayor anchura de pecho y torso (7). No obstante, también se observa adaptación a altitudes elevadas en bovinos mestizos, es decir, vacas medianas con características de adaptabilidad como el pelaje, y la capacidad de poder respirar mejor a comparación de las vacas altas.

Figura 5.- Correlación entre variables fisiopatológicas



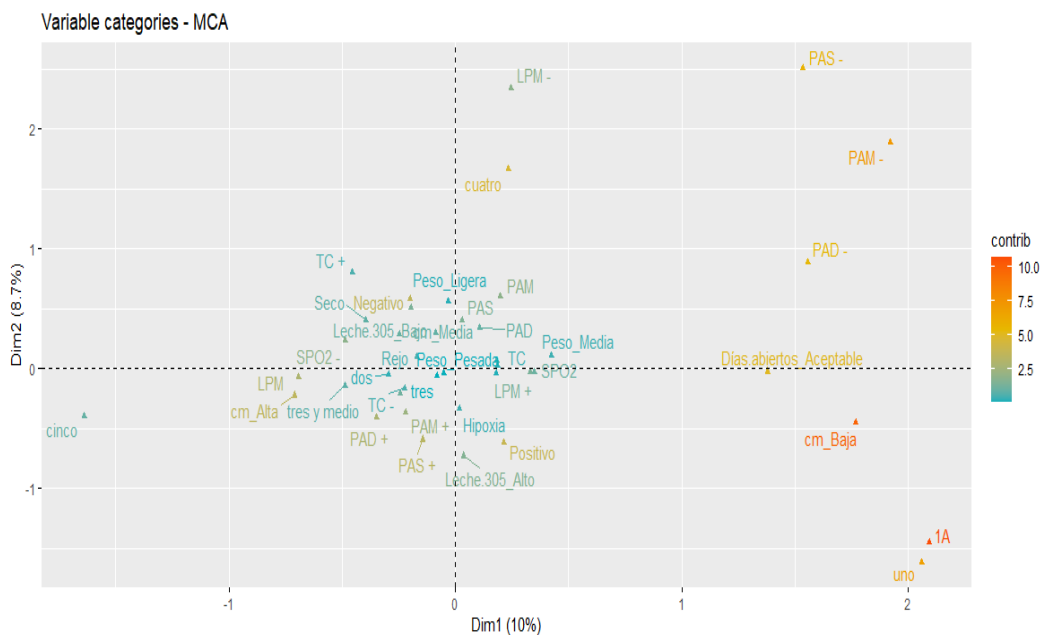
En la interpretación de los mecanismos fisiopatológicos involucrados en la presentación del mal de altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas, ver Figura 5, se realiza un análisis de correlación entre variables PAS, PAD, PAM y SPO2. Las presiones tendían a ser más altas en bovinos que estaban produciendo leche, donde se visualiza mayor correlación de PAD y PAM (0,81). Al observar una fuerte correlación entre PAD y PAM, resultando un marcador y señal de alarma en vacas que presentan inicios de hipertensión arterial. Seguido, se encuentran correlaciones PAS y PAD, donde se observa correlación de 0,46. En la literatura, evaluaron estas 2 variables para encontrar si existía independencia en cada una, sin embargo, con análisis cuantificado por el coeficiente de correlación, se observó dependencia al 95%, resultando que estas 2 variables dan patrones similares en vacas que sufren hipertensión arterial, donde las evaluaciones realizadas identificar cardiomiopatías, se observaba PAS alterado, PAD también lo estaba (74). Sin embargo, durante este análisis se evidenció dependencia con PAM y FP (74). Por lo tanto, para encontrar mecanismos fisiopatológicos asociados con el mal de altura, la medición

de PAS y PAD no son suficientes para relacionarlas con el mal de altura, sino que también se debe optar por evaluar otras variables como PAM, FP, SPO2 y temperatura.

Dado que la exposición de las vacas a altitudes elevadas tuvo un proceso de aclimatación, fisiológicamente aumentó las presiones arteriales durante los primeros días, donde se encontró a vacas que no soportaron la altitud con problemas del mal de altura llevándolas a zonas bajas, mientras que otras en cierto tiempo expuestas, se adaptaron y regularon las constantes fisiológicas medidas, resultando la obtención de las mediciones por igual a las que están en altitudes bajas. Se hubiera observado cambios en las constantes fisiológicas si estas mediciones se hacían desde un principio donde las vacas eran trasladadas a altitudes elevadas. Otras posibles causas del porqué se evidencia estos resultados podría ser: las presiones arteriales altas tendían a aumentar al inicio del periodo de mediciones y disminuir con el tiempo, sobre todo si no se seguían con las indicaciones dadas en las capacitaciones para el manejo de las vacas maximizando el nivel de estrés, que con el tiempo se acostumbraban al procedimiento y el estrés se disminuyó, dando resultados bajos de los que se obtenían al principio, por otro lado, puede existir diferencias por la distancia en donde se ubicaba el brazalete para medir la presión, es decir, la distancia horizontal entre el corazón y la base de la cola.

10.4 Análisis de Correspondencia Múltiple

Figura 6.- Gráfico de ACM bidimensional. Correlaciones entre las variables



Las correlaciones entre cada categoría de las variables se visualizan en la Figura 6, la mayor correlación se encuentra en la categoría Rejo y alta producción de leche a los 305 días. A continuación, se observa correlación entre el pulso venoso positivo, frecuencia del pulso Alto, presiones arteriales Altas e Hipoxia en vacas de producción. Por último, se encuentran la categoría 1A, con la frecuencia del pulso y las presiones arteriales Normales con saturación de oxígeno aceptable. Por lo tanto, hay correlación entre el pulso venoso, frecuencia de pulso y presiones arteriales en vacas que se encuentran con alta producción de leche a los 305 días que están en la categoría Rejo, obteniendo los posibles factores de riesgo en la presentación del mal de altura en vacas expuestas a altitudes elevadas.

10.5 Protocolo de prevención del mal de altura para la hacienda L&G FARM

En base a los resultados obtenidos, se realiza un protocolo específico para la Hacienda L&G FARM:

- **Manejo de pastos:** Se debe continuar con el manejo de pastos que aplican en la zona, para el mantenimiento de vacas en producción, ya que, por lo general, el trébol, ray Grass y pasto azul (cultivados en la zona) son pastos tolerantes a temperaturas bajas y zonas con mayor altitud. No obstante, hay que tener en cuenta las zonas de pastoreo con espacios libres de vegetación aplicando fertilizantes orgánicos, como el estiércol o el compost para mejorar la calidad del suelo por la compactación. Evitar que las vacas pastoreen en exceso realizando una rotación cada 3 semanas por lo menos. Si las zonas de pastoreo poseen nutrientes insuficientes y el pasto consumido por la vaca es bajo, la producción de leche y la salud de las vacas se encontrará afectada por el mayor consumo energético que necesitan para producir y mantenerse.
- **Administración de minerales:** Se recomienda la suplementación de minerales ya que si existe deficiencia de estos, las vacas pueden experimentar problemas con la ovulación, la implantación del feto y el desarrollo del ternero. También pueden ser más susceptibles a enfermedades reproductivas. Si las vacas se encuentran en altitud y resulta dificultoso la administración de sal, se debe optar por colocar bloques de sal mineralizada en el área de pastoreo y estos sean de fácil acceso. Tomar en cuenta el ambiente, es decir, los bloques deben estar ubicados bajo techo en caso de lluvias y exceso de humedad. Inspeccionar frecuentemente el sitio a colocar ya que se pueden dar ocasiones en las que se observa ectoparásitos.

- **Administración de medicamentos:** Las presiones arteriales altas se pueden controlar con la administración de antihipertensivos, esto depende de la gravedad de la hipertensión, la edad y presencia de otras afecciones. Dentro de los antihipertensivos se encuentran a los diuréticos, betabloqueantes y vasodilatadores. Los diuréticos (Furosemida) eliminan el exceso de sal y agua dentro del organismo ayudando a reducir la presión arterial; los betabloqueantes tales como el atenolol, caverdilol, propranolol, sotasol, funcionan de tal manera que la fuerza de la contracción cardiaca se reduzca por la cantidad de sangre que bombea el corazón resultando la disminución de la presión arterial, y por último, los vasodilatadores como el Heptaminol, cuya función principal es relajar los vasos sanguíneos.
- **Pulsatilidad positiva:** Este problema puede ser causado por enfermedades como la insuficiencia cardiaca, pericarditis y cardiomiopatía. Para ello, la administración de antiinflamatorios podría ayudar a reducir la inflamación cardiaca. Así también los medicamentos inotrópicos que ayudan a mejorar la fuerza del corazón.
- **Bienestar animal (lactancia):** es importante tener en cuenta que algunas vacas son naturalmente más propensas a tener lactancias altas que otras, debido a varios factores, entre ellos, la genética y los rasgos morfológicos que posean. Se puede optar por medidas como controlar la producción de leche, reduciendo el número de veces en las cuales las vacas son ordeñadas o dietas equilibradas. Es decir, si se observa que la alta producción de leche durante los 305 días afecta negativamente al organismo y por ende, se observa alteraciones en la homeostasis, para lograr un equilibrio la dieta debe ser más restringida pero equilibrada y esta contenga todos los nutrientes necesarios, como proteína, fibra, energía y minerales necesarios para mantenerse y producir normalmente obteniendo lactancias saludables y productivas.
- **Aclimatación:** En caso de los terneros que se encuentran a menor altitud (1A), la aclimatación es esencial para su adaptación en altitudes elevadas. Cuando se dé el transporte a mayor altitud se recomienda subir lentamente a los terneros, ya que la altitud se debe aumentar gradualmente, no más de 300 metros por día, permitiendo que se adapten a la menor presión del aire. Así mismo proporcionar un ambiente adecuado con acceso a agua fresca, sombra y un lugar para descansar. Otro requerimiento necesario es el ofrecer una dieta adecuada donde los terneros

deben recibir una dieta equilibrada que contenga todos los nutrientes necesarios, especialmente cuando estén en periodo de aclimatación a la altitud, ya que necesitan mayor gasto energético para adaptarse.

- **Monitoreo constante:** se puede optar por el uso de dispositivos como el oxímetro al menos 2 veces por semana. El oxímetro cuenta con sensores inalámbricos las cuales se pueden colocar en el cuerpo de los animales para medir parámetros como la frecuencia cardíaca, presiones arteriales, oxigenación y temperatura corporal. Esto puede ayudar a las producciones pecuarias a detectar signos de problemas de salud antes de que se vuelvan graves.

11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS)

11.1 Impacto Técnico

Las nuevas tecnologías y herramientas tendrían un impacto significativo por el desarrollo de nuevos algoritmos para analizar los datos y detectar patrones que indiquen mal de altura para comunicar los resultados a los propietarios e identificar a las vacas que se encuentran susceptibles al mal de altura mejorando el bienestar animal.

11.2 Impacto Social

El desarrollo de un parámetro para evaluar el mal de altura antes de que aparezcan los síntomas tendría un impacto social positivo, ya que permitiría a los propietarios de las producciones pecuarias tomar medidas para prevenir el mal de altura en las vacas que son transportadas a altitudes elevadas y si los propietarios saben que sus vacas están en riesgo de desarrollar el mal de altura pueden tomar medidas como la aclimatación, proporcionarles acceso a agua de manera adecuado y administrar medicamentos para ayudar a las vacas soportar la altitud fácilmente.

11.3 Impacto Ambiental

Reduciría el número de vacas que mueren por el mal de altura, resultando menos vacas eliminadas de la cadena alimentaria, lo que podría ayudar a reducir el impacto ambiental de la producción de carne. También podría ayudar a mejorar la eficiencia de la producción de carne por la reducción de recursos como el agua, tierra y energía, para producir la misma cantidad de carne de res.

11.4 Impacto Económico

Podría ayudar a mejorar la salud y el bienestar general de las vacas ya que encuentran menos expuestas al riesgo de contraer enfermedades y otras afecciones, lo que podría ayudar a reducir los costos veterinarios como la administración de fármacos.

12. COSTOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Tabla 6: Costos del proyecto de investigación

COSTOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN				
DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR	
			VALOR UNITARIO	TOTAL
EQUIPO PARA EL PESAJE Y MEDICION				
Cinta bovinométrica	1	Un	\$15,00	\$15,00
Cinta métrica	2	m	\$2,00	\$4,00
EQUIPO PARA TOMA DE CONSTANTES FISIOLÓGICAS				
NONIN 8600 V	1	Un	\$400,00	\$400,00
INSUMOS VETERINARIOS				
Yodo	1	Frasco	\$3,00	\$3,00
Jeringuillas	10	Un	\$0,20	\$2,00
Guantes ginecológicos	1	Caja	\$15,00	\$15,00
Guantes de nitrilo	1	Caja	\$3,00	\$3,00
Mascarilla	1	Caja	\$2,50	\$3,00
MATERIALES DE OFICINA				
Cuaderno	1	Un	\$2,00	\$2,00
Libreta	1	Un	\$1,50	\$2,00
Esferográficos	3	Un	\$0,50	\$2,00
GASTOS FIJOS				
Transporte	28	Días	\$15,00	\$420,00
Datos móviles	2	Meses	\$7,00	\$14,00
			TOTAL	\$883,50

13. CONCLUSIONES

- Se encontró correlación entre el peso y altura a la cruz (0,58), dicha correlación presentó diferencias significativas al resto de variables analizadas, donde éstas demostraron debilidad, concluyendo que los factores de riesgo en bovinos muestreados son los bovinos pesados y altos, teniendo más probabilidades de presentar mal de altura, por el mayor gasto energético y la dificultad de respirar que tienen a causa de una altitud elevada.

- En cuanto a la medición de las variables para encontrar los mecanismos fisiopatológicos, PAD y PAM tienen correlación de 0,81 concluyendo que animales con valores altos en PAD (>80 mmHg) y PAM (>90 mmHg) son los mecanismos fisiopatológicos involucrados con la presentación del mal altura en bovinos expuestos a altitudes elevadas en la hacienda L&G FARM.

14. RECOMENDACIÓN

A pesar de haber encontrado correlaciones entre variables analizadas, se recomienda continuar analizando otras variables que pueden estar asociadas con el mal de altura en las vacas, tomando en cuenta el acontecimiento a suceder y realizar las mediciones antes, durante y después de exponer a las vacas a altitudes elevadas, pudiendo así, estandarizar protocolos sobre el manejo, prevención y tratamientos específicos en cada una de las producciones pecuarias en la serranía ecuatoriana. Si se logra estandarizar protocolos específicos, se lograría mejorar los parámetros productivos, reproductivos y económicos, logrando incrementar la rentabilidad en pequeños y medianos productores en el Ecuador.

15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ecopar. Guía práctica de buenas prácticas para el manejo adaptativo del sistema pecuario y la conservación del ecosistema páramo en la parroquia de Papallacta. Minist del Ambient [Internet]. 2013;55. Available from: <http://www.alianzaclimatica.com/documentos/Guía Manejo Adaptativo Áreas de Pastoreo.pdf>
2. Haro R. Informe sobre recursos zoogenéticos Ecuador. Minist Agric Y Ganad [Internet]. 2017;33. Available from: <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/genetics/documents/Interlaken/countryreports/Ecuador.pdf> <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a1250f/annexes/CountryReports/Ecuador.pdf>
3. Primo AT. El Ganado Bovino Iberico En Las Americas:500 Años Después. Arch Zootec. 1992;41(154):421–32.
4. Vizcarra R, Lasso R, Tapia D. La Leche del Ecuador. Cent La Ind Láctea Del Ecuador [Internet]. 2015;183. Available from: http://www.pichincha.gob.ec/phocadownload/publicaciones/la_leche_del_ecuador.pdf
5. Cristina P, Bohórquez M. Animales y medio ambiente. Problemas de responsabilidad* Animals and environment: Problems of responsibility. Univ Antioquia. 2014;(50):9–30.
6. Penaloza D, Arias-Stella J. The heart and pulmonary circulation at high altitudes: Healthy highlanders and chronic mountain sickness. Circulation. 2007;115(9):1132–46.
7. Gonzales Aparicio GW, Montes MC, Gutierrez Reynoso GA, de León Bravo FAP. Effect of molecular genetic markers on hypoxia-inducible genes of Creole and Brown Swiss cattle raised in the Peruvian Andes. Rev Investig Vet del Peru. 2021;32(5):1–15.
8. Tecnológico I, Jubones S, León-rodríguez IC, Lituma-zhunio NN, Veintimilla-luna GE. Revista científica Sociedad & Tecnología. 2022;(443):443–57.
9. Ministerio del Ambiente A y TE del E. Buenas prácticas y lecciones aprendidas

- del Proyecto Ganadería Climáticamente Inteligente (GCI). 2020;
10. Arias RA, Mader TL, Escobar PC. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch Med Vet.* 2008;40(1):7–22.
 11. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. INFORME NACIONAL DEL ECUADOR para la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible HABITAT III. Subsecr Hábitat Y Asentam Humanos [Internet]. 2015;5. Available from: <https://uploads.habitat3.org/hb3/National-Report-Ecuador-spanish.pdf> http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/05/Informe-Pais-Ecuador-Enero-2016_vf.pdf
 12. Basnyat B. Pro: Pulse oximetry is useful in predicting acute mountain sickness. *High Alt Med Biol.* 2014;15(4):440–1.
 13. Nieto D, Berisso R, Demarchi O, Scala E. Manual de Buenas Prácticas de Ganadería Bovina para la Agricultura Familiar [Internet]. *Estudios ab.* 2012. 182 p. Available from: <http://www.fao.org/3/i3055s/i3055s.pdf>
 14. Peralta M, Rodríguez L. Guía 1: Homeostasia Y Medio Interno. *Ciencias Biológicas* [Internet]. 2018;3:9. Available from: <https://www.uv.mx/personal/lbotello/files/2013/02/Homeostasis-y-Medio-Interno-CHA-2010.pdf>
 15. Briones V, Brusil C, Delgado L, Gaibor W, Stachelscheid E, White S. Sistemas de producción: manejo de animales de altura. *Consortio Carmen* [Internet]. 2000;308. Available from: <https://bit.ly/2IVzUTA> <https://www.camaren.org/documents/manejodeanimales.pdf>
 16. Hellen M, Peñuela R, Uribe-velásquez LF, Alberto J, Valencia S. Biomarcadores De Estrés Como Indicadores De Bienestar Animal En Ganado De Carne. 2011;(26):71–87.
 17. Góngora A, Hernández A. High Environmental Temperatures Affect reproduction in the cow. *UDCA Actual Divulg Científica.* 2010;13(2):141–51.
 18. Molina G. Hipoxia. *Cent Med* [Internet]. 2018;1–5. Available from:

- <http://kimerius.com/app/download/5783677182/Hipoxia.pdf>
19. Bustos JM, Sinergia RM. Hipoxia Y Cianosis Respuesta a La Hipoxia. Rev Medica Sinerg. 2016;1(9):9–12.
 20. Carbó Zabala R, Guarner V. Cambios en el metabolismo cardíaco y su posible aprovechamiento en la terapéutica (Parte II). Arch Cardiol Mex. 2004;74(1):68–79.
 21. Nuevas MY, Terapéuticas D. Muerte celular durante la reperfusión miocárdica. mecanismos y nuevas dianas terapéuticas. 2003;
 22. Aiello EA. Capítulo 19 CANALES DE POTASIO (K +) Y CALCIO (Ca 2+) EN MÚSCULO LISO VASCULAR Palabras clave. Hipertensión [Internet]. 2015;87–92. Available from: www.saha.org.ar/1/pdf/libro-hipertension/Cap.019.pdf
 23. Amézcuca González L. CGMA Cap. 3 - Efectos Fisiológicos del Vuelo. Conceptos Gen la Med Aeronáutica. 2000;21.
 24. Hurtado et al. Alteraciones del metabolismo del oxígeno. Fisiopatol Mec las disfunciones orgánicas [Internet]. 2011;38:17–9. Available from: <https://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2015/cmas151b.pdf>
 25. Jense, Ruen M. La enfermedad de las alturas. 1917;
 26. Caramelo C, Peña Deudero JJ, Castilla A, Justo S, De Solis AJ, Neria F, et al. Respuesta a la hipoxia. Un mecanismo sistémico basado en el control de la expresión génica. Medicina (B Aires). 2006;66(2):155–64.
 27. Bärtsch P, Gibbs JSR. Effect of altitude on the heart and the lungs. Circulation. 2007;116(19):2191–202.
 28. Naeije R. Physiological adaptation of the cardiovascular system to high altitude. Prog Cardiovasc Dis [Internet]. 2010;52(6):456–66. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pcad.2010.03.004>
 29. Jesús M, Nieto R, Villar Álvarez F. Fisiopatología E Histopatología De La Hipertensión Arterial Pulmonar (Hap) Bloque I. Fisiopatología, Patogenia, Epidemiología Y Generalidades Diagnósticas Y Terapéuticas En Hap. :9–16.
 30. Voelkel NF, Tuder RM. Hypoxia-induced pulmonary vascular remodeling: A

- model for what human disease? *J Clin Invest.* 2000;106(6):733–8.
31. Federico Renna N, Miguel Miatello R. Capítulo 60 FISIOPATOLOGÍA DEL REMODELADO VASCULAR EN LA HIPERTENSIÓN ARTERIAL Palabras clave Abreviaturas utilizadas. *Libr La Hipertensión Arter* [Internet]. 2017;6. Available from: <http://www.saha.org.ar/pdf/libro/Cap.060.pdf>
 32. García Pérez A, Fuentes Prats RA, Torres Quiala M, Fernández Ortega M, Charróo Portilla O. Oxido Nitrico. Un Nitrovasodilatador Endogeno. *Rev Inf Científica* [Internet]. 2003;37(1):1–10. Available from: [http://www.revinfcientifica.sld.cu/index.php/ric/article/view/1597#:~:text=El óxido nítrico%2C considerado un,macrófagos y numerosas células neurales.](http://www.revinfcientifica.sld.cu/index.php/ric/article/view/1597#:~:text=El%20óxido%20nitr%20considerado%20un,macrófagos%20y%20numerosas%20células%20neurales)
 33. Rello J, Pérez-Terán P. Hipertensión pulmonar. *Rev Esp Cardiol Supl.* 2013;13(4):1.
 34. Cundrle I, Olson LJ, Johnson BD. Pulmonary Limitations in Heart Failure. *Clin Chest Med.* 2019;40(2):439–48.
 35. Velez S. Clasificación y diagnóstico de la insuficiencia cardíaca. *Texto Cardiol.* 2007;704–11.
 36. Galvan PO. Mejoramiento genético del ganado bovino productor de leche. *Cienc Vet* [Internet]. 1991;5:67–88. Available from: <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/cienciavet/revistas/CvVol5/CVv5c4.pdf>
 37. Yang Y, Gao C, Yang T, Sha Y, Cai Y, Wang X, et al. Vascular characteristics and expression of hypoxia genes in Tibetan pigs' hearts. *Vet Med Sci.* 2022;8(1):177–86.
 38. Porrúa A. La piel. *Caracol.* 2013;1(5):196.
 39. Cowburn AS, Macias D, Summers C, Chilvers ER, Johnson RS. Cardiovascular adaptation to hypoxia and the role of peripheral resistance. *Elife.* 2017;6:1–23.
 40. Boutin AT, Weidemann A, Fu Z, Mesropian L, Jamora C, Wiesener M, et al. Response. 2010;133(2):223–34.
 41. Bedogni B, Welford SM, Cassarino DS, Nickoloff BJ, Giaccia AJ, Powell MB. The hypoxic microenvironment of the skin contributes to Akt-mediated

- melanocyte transformation. *Cancer Cell*. 2005;8(6):443–54.
42. Newman JH, Holt TN, Hedges LK, Womack B, Memon SS, Willers ED, et al. High-altitude pulmonary hypertension in cattle (Brisket disease): Candidate genes and gene expression profiling of peripheral blood mononuclear cells. *Pulm Circ*. 2011;1(4):462–9.
 43. Tsegaye S, Ebrahim H. Benefits of Farm Animals Genetic Adaptation: A Review. *Eur J Exp Biol*. 2018;08(04):3–5.
 44. Yadav B, Singh G, Wankar A. Acclimatization dynamics to extreme heat stress in crossbred cattle. *Biol Rhythm Res* [Internet]. 2021;52(4):524–34. Available from: <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1610627>
 45. Windsor JS, Rodway GW. Heights and haematology: The story of haemoglobin at altitude. *Postgrad Med J*. 2007;83(977):148–51.
 46. Duarte E. Uso del Agua en establecimientos agropecuarios. Planificación del sistema de abrevadero. *Rev Plan Agropecu* [Internet]. 2011;140(Parte II):38–43. Available from: http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R139/R_139_52.pdf
 47. Valle M, Vicari C, Faravelli M, Glauber C, Winter N. Manual de Bienestar Animal. Un enfoque práctico para el buen manejo de especies domésticas durante su tenencia, producción, concentración, transporte y faena. *Etol Apl*. 2015;1:19–21.
 48. Bravo Feito J, Espinosa Román L. Hipertensión arterial sistémica. *Pediatr Integr*. 2021;25(8):426.e1-426.e14.
 49. Esfigmomanómetro H. Cien años de dos grandes acontecimientos en la historia de la medicina : 1996;(5).
 50. López-Herranz GP. Oximetría de pulso : A la vanguardia en la monitorización no invasiva de la oxigenación. *Rev Médica del Hosp Gen México*. 2003;66(3):160–9.
 51. Martínez C. Investigación Descriptiva: Tipos y Características. *Lifeder.com*. 2018;7.
 52. Liñan A Pérez. Política comparada sobre América Latina : teorías, métodos y

- tópicos. 2015;444. Available from: <http://ediciones.udp.cl/index.php/historia/politica-comparada-con-america-latina/>
53. Fletcher RS, Fisher DK. Spatial Analysis of Soybean Plant Height and Plant Canopy Temperature Measured with On-the-Go Tractor Mounted Sensors. *Agric Sci*. 2019;10(11):1486–96.
 54. Lê S, Josse J, Husson F. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *J Stat Softw*. 2008;25(1):1–18.
 55. Fonseca DC, Sala P, de Azevedo Muner Ferreira B, Reis J, Torrinhas RS, Bendavid I, et al. Body weight control and energy expenditure. *Clin Nutr Exp* [Internet]. 2018;20:55–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.yclnex.2018.04.001>
 56. Rogobete AF, Grintescu IM, Bratu T, Bedreag OH, Papurica M, Crainiceanu ZP, et al. Assessment of metabolic and nutritional imbalance in mechanically ventilated multiple trauma patients: From molecular to clinical outcomes. *Diagnostics*. 2019;9(4).
 57. Medicine SOF. Obesity: The 'Huge' Problem in Cardiovascular Diseases. 2013;(December):499–504.
 58. Averno T, Offoli T. Mitigacion Del Estres Calorico En Vacas Lecheras En Un Clima Subhumedo. 2016;15(1):2015–6.
 59. Sluysmans T, Colan SD. Theoretical and empirical derivation of cardiovascular allometric relationships in children. *J Appl Physiol*. 2005;99(2):445–57.
 60. Megías Manuel PM y MP. Organos animales circulatorio. Atlas la Histol Veg y Anim [Internet]. 2019;1(2):1–510. Available from: <https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/o-a-cardiovascular.pdf>
 61. Louca A, Legates JE. Production Losses in Dairy Cattle Due to Days Open. *J Dairy Sci*. 1968;51(4):573–83.
 62. Loker S, Miglior F, Bohmanova J, Jamrozik J, Schaeffer LR. Phenotypic analysis of pregnancy effect on milk, fat, and protein yields of Canadian Ayrshire, Jersey, Brown Swiss, and Guernsey breeds. *J Dairy Sci* [Internet]. 2009;92(3):1300–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2008-1425>

63. Hatting M, Tavares CDJ, Sharabi K, Rines AK, Puigserver P. Insulin regulation of gluconeogenesis. *Ann N Y Acad Sci.* 2018;1411(1):21–35.
64. Sawa A, Siatka K, Krezel-Czopek S. Effect of age at first calving on first lactation milk yield, lifetime milk production and longevity of cows. *Ann Anim Sci.* 2019;19(1):189–200.
65. Diaz Góngora G, Fragos Cuello C, Gordillo Tobar L. Comunicación interauricular (CIA): Defectos del complejo septal interauricular. *Cardiop congénitas.* 2018;0:1273–80.
66. Rosas-Peralta M, Sandoval-Zárate J, Attie F, Pulido T, Santos E, Granados NZ, et al. Implicaciones clínicas y pronósticas del estudio circadiano de la modulación simpático-vagal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en pacientes con hipertensión arterial pulmonar grave. *Gac Med Mex.* 2006;142(1):19–28.
67. López JL. Válvulas cardíacas: funcionamiento y enfermedades. *Libr Salud Cardiovasc del Hosp Clínico San Carlos [Internet].* 2009;457–62. Available from: https://www.fbbva.es/microsites/salud_cardio/mult/fbbva_libroCorazon_cap51.pdf
68. Joyner MJ, Casey DP. Regulation of increased blood flow (Hyperemia) to muscles during exercise: A hierarchy of competing physiological needs. *Physiol Rev.* 2015;95(2):549–601.
69. Maharaj R. Diastolic dysfunction and heart failure with a preserved ejection fraction: Relevance in critical illness and anaesthesia. *J Saudi Hear Assoc [Internet].* 2012;24(2):99–121. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsha.2012.01.004>
70. Paleczny B, Seredyński R, Tubek S, Adamiec D, Ponikowski P, Ponikowska B. Hypoxic tachycardia is not a result of increased respiratory activity in healthy subjects. *Exp Physiol.* 2019;104(4):476–89.
71. Vijgen J, Albrecht M, Kumar A, Steen T, Tant M, Lerecouvreur M, et al. New Standards for Driving and Cardiovascular Diseases. *Eur Work Gr Driv Cardiovasc Dis [Internet].* 2013;1(1):59. Available from: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/behavior/driving_and_cardiovascular_disease_final.pdf

72. Yang J, Ferreira T, Morris AP, Medland SE, Madden PAF, Heath AC, et al. Conditional and joint multiple-SNP analysis of GWAS summary statistics identifies additional variants influencing complex traits. *Nat Genet* [Internet]. 2012;44(4):369–75. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/ng.2213>
73. Cheng M, McCarl B, Fei C. Climate Change and Livestock Production: A Literature Review. *Atmosphere (Basel)*. 2022;13(1).
74. Gavish B, Ben-Dov IZ, Bursztyn M. Linear relationship between systolic and diastolic blood pressure monitored over 24 h: Assessment and correlates. *J Hypertens*. 2008;26(2):199–209.

16. ANEXOS

Anexo 1: Hoja de vida del tutor del proyecto.

HOJA DE VIDA

1.- DATOS PERSONALES:

Nombre: Molina Cuasapaz Edie Gabriel

Lugar y fecha de Nacimiento: Quito, 12 de julio 1990

Edad: 33 años

Género: masculino

Nacionalidad: ecuatoriano

Tiempo de Residencia en el Ecuador

(Extranjeros):

Dirección Domiciliaria: Pichincha, Quito, Solanda Av. Mariscal Sucre S25-225 y Alfredo Escudero

Teléfono(s): 022964757 / 0985728986

Cédula de identidad: 1722547278

Tipo de sangre: O positivo

Estado Civil: soltero

Personas con discapacidad: N.º de carné del CONADIS: NO POSEE

2.- INSTRUCCIÓN FORMAL:

Nivel de Instrucción	Nombre de la institución educativa	Título obtenido	Número de registro Senescyt	Lugar (país y ciudad)
Tercer nivel	Universidad Central del Ecuador	Médico Veterinario Zootecnista	1005-2016- 1684132	Ecuador
Cuarto nivel	Universidad politécnica de Valencia Universidad Autónoma de Barcelona	Máster en Mejora Genética Animal y Biotecnología de la Reproducción	7241137679	España

DECLARACIÓN: DECLARO QUE, todos los datos que incluyo en este formulario son verdaderos y no he ocultado ningún acto o hecho, por lo que asumo cualquier responsabilidad.

Edie Gabriel Molina Cuasapaz

Anexo 2: Hoja de vida del autor del proyecto.

HOJA DE VIDA

1.- DATOS PERSONALES:

Nombre: Quilumba Molina Johana Estefania

Lugar y fecha de Nacimiento: Quito, 22 de enero del 2000

Edad: 23

Género: femenino



Nacionalidad: ecuatoriana
(Extranjeros):

Tiempo de Residencia en el Ecuador

Dirección Domiciliaria: Pichincha, Quito, La Roldós – Consejo Provincial – Calle O Lote 765

Teléfono(s): 024507911 / 0998740265

Cédula de identidad: 1756033492

Correo electrónico: johana.quilumba3492@utc.edu.ec

Tipo de sangre: O positivo

Estado Civil: soltera

Personas con discapacidad: N.º de carné del CONADIS: NO POSEE

2.- INSTRUCCIÓN FORMAL:

Nivel de Instrucción	Nombre de la institución educativa	Título obtenido	Número de registro Senescyt	Lugar (país y ciudad)
Primer Nivel	Institución Educativa Particular Primavera de Quito			Ecuador
Segundo Nivel	Unidad Educativa Liceo Policial	Bachiller en Ciencias Generales	05055224	Ecuador

DECLARACIÓN: DECLARO QUE, todos los datos que incluyo en este formulario son verdaderos y no he ocultado ningún acto o hecho, por lo que asumo cualquier responsabilidad.

Quilumba Molina Johana Estefania

Anexo 3: Imágenes recolectadas durante el proyecto de investigación.



Imagen 1.- Hacienda L&G FARM

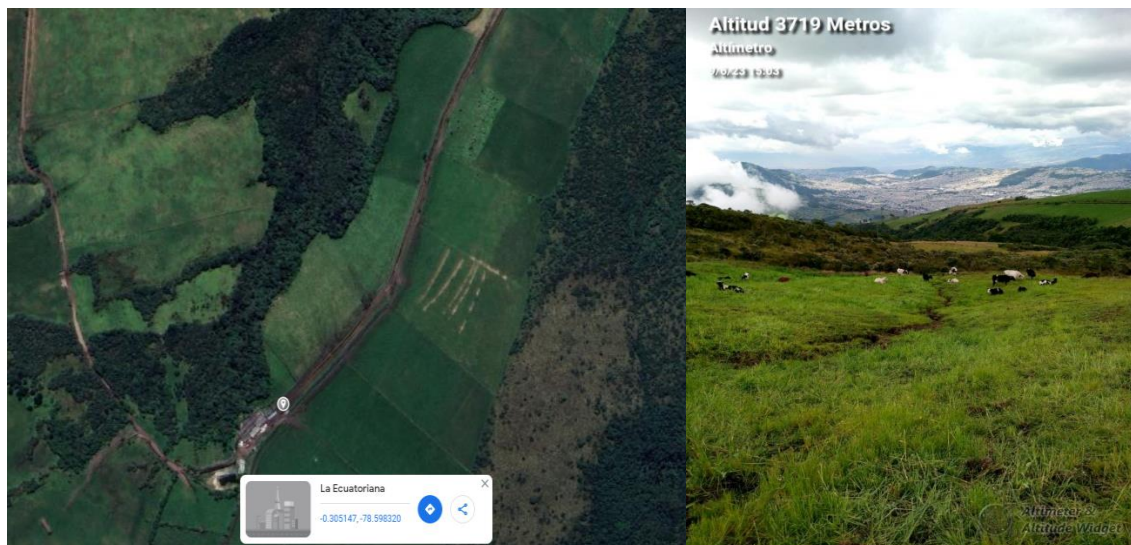


Imagen 2 .- Ubicación de los animales en producción y de vientre (Rejo)



Imagen 3.- Ubicación de terneros (1A)



Imagen 4.- Aplicación de medicamentos (vitaminas) en vacas y terneros



Imagen 5.- Transporte de animales al ordeño



Imagen 6.- Toma de parámetros

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Ubicación	Nombre vaca	Peso (kg)	Peso	Categoría	Condición Corporal	Cc	Altura a la cruz	Altura +	Días de lactancia	Días abiertos
2	Mayra	599	Pesada	Rejo	3,5	Ideal	136	Alta	63	42
3	Caperuza	400	Media	Rejo	3	Ideal	124	Baja	230	53
4	Samanta	608	Pesada	Rejo	4	Ideal	135	Media	344	54
5	Tania	630	Pesada	Rejo	2,5	Enflaquecido	137	Alta	35	66
6	Camila I (roja)	608	Pesada	Seco	3	Ideal	132	Media	24	75
7	Victoria	426	Media	Rejo	2	Enflaquecido	128	Media	93	78
8	Cuencana	560	Pesada	Seco	4	Ideal	129	Media	280	82
9	Suca	580	Pesada	Rejo	2,5	Enflaquecido	135	Media	85	90
10	Magdalena	490	Pesada	Rejo	3	Ideal	137	Alta	188	90
11	Marquesa	560	Pesada	Rejo	4	Ideal	136	Alta	228	95
12	Pau	560	Pesada	Rejo	2	Enflaquecido	142	Alta	297	97
13	Rosita	660	Pesada	Rejo	3	Ideal	140	Alta	71	97
14	Violeta	390	Media	Rejo	2,5	Enflaquecido	124	Baja	95	103
15	Nieves	570	Pesada	Rejo	2,5	Enflaquecido	134	Media	92	117
16	Pila	466	Pesada	Rejo	3	Ideal	133	Media	305	122
17	Serena	480	Pesada	Rejo	2	Enflaquecido	135	Media	179	151
18	Cristina	640	Pesada	Seco	3	Ideal	136	Alta	24	172
19	Vela	568	Pesada	Rejo	2	Enflaquecido	134	Media	180	174
20	Lili	480	Pesada	Rejo	2,5	Enflaquecido	130	Media	286	175
21	Elena	650	Pesada	Rejo	2,5	Enflaquecido	148	Alta	182	186
22	Grecia	560	Pesada	Rejo	1,5	Enflaquecido	133	Media	185	200
23	Canela	615	Pesada	Rejo	3	Ideal	137	Alta	305	201
24	Irma	530	Pesada	Rejo	2,5	Enflaquecido	131	Media	243	209
25	Azucena	320	Ligera	Rejo	3	Ideal	132	Media	305	210
26	Ornella	605	Pesada	Rejo	2,5	Enflaquecido	145	Alta	255	220
27	Inés	550	Pesada	Rejo	3	Ideal	137	Alta	305	226
28	Sol	500	Pesada	Rejo	2,5	Enflaquecido	137	Alta	237	232

Imagen 7.- Registro de la información de manera computarizada en Microsoft Excel



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“FACTORES DE RIESGO Y MECANISMOS FISIOPATOLÓGICOS ASOCIADOS A LA PRESENTACIÓN DEL MAL DE ALTURA EN BOVINOS EXPUESTOS A ALTITUDES ELEVADAS”** presentado por: **Quilumba Molina Johana Estefania** egresada de la Carrera de: **Medicina Veterinaria**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a la peticionaria hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Agosto del 2023.

Atentamente,



CENTRO
DE IDIOMAS

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CC: 0502666514