

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

TESIS:

**DETERMINACIÓN DE LA EMISIÓN DE METANO EN GANADO
VACUNO RAZA HOLSTEIN USANDO EL SOFTWARE LIFE SIM Y
UN SENSOR DE METANO EN HUACARIZ**

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Presentada por:

Mg. ROGER SAMUEL SILVA ABANTO

Asesor:

Dr. TEÓFILO SEVERINO TORREL PAJARES

Cajamarca, Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Roger Samuel Silva Abanto
DNI N°: 26600012
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Doctorado en Ciencias, Mención: Gestión Ambiental y Recursos Naturales
2. Asesor: Dr. Teófilo Severino Torrel Pajares
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☐ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☒ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
Determinación de la emisión de metano en ganado vacuno raza Holstein usando el Software Life Sim y un sensor de metano en Huacariz
6. Fecha de evaluación: **26/09/2025**
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **16%**
9. Código Documento: **3117:503868619**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ **APROBADO** ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **04/12/2025**

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*


.....
Dr. Teófilo Severino Torrel Pajares
DNI: 26604631

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
ROGER SAMUEL SILVA ABANTO
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES


Siendo las 11:00 horas, del día 13 de junio del año dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. GLICERIO EDUARDO TORRES CARRANZA**, **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, **Dr. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ** y en calidad de Asesor, el **Dr. TEÓFILO SEVERINO TORREL PAJARES**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **DETERMINACIÓN DE LA EMISIÓN DE METANO EN GANADO VACUNO RAZA HOLSTEIN USANDO EL SOFTWARE LIFE SIM Y UN SENSOR DE METANO EN HUACARIZ**, presentada por el **Maestro en Educación Mención: Docencia Universitaria y Gestión Educativa, ROGER SAMUEL SILVA ABANTO**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de QUINCE (15) la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Maestro en Ciencias Mención: Docencia Universitaria y Gestión Educativa, ROGER SAMUEL SILVA ABANTO**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES** de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias,

Siendo las 13:00 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Teófilo Severino Torrel Pajares
Asesor


.....
Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza
Jurado Evaluador


.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador


.....
Dr. Jimy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por iluminarme en el desarrollo de mi proyecto de Tesis Doctoral

A mi padre Samuel Silva Marín me permitió superarme y buscar la excelencia en mis estudios y trabajos.

A mi madre María Eduarda con cariño Norita quien financió mis estudios superiores y me dio la oportunidad de empezar el post grado

A mi hermana Fabiola la recuerdo con alegría y ha sido mi ángel

A mis hermanos Fernando, Carola, Mariela con mucho aprecio han dado el apoyo para iniciar y terminar mis estudios de doctorado

A mi esposa Tania, a quien le dedico de manera especial porque ha vivido los aciertos y desaciertos de desarrollar, sustentar y ha sido el motor permanente.

A mis hijas Kathia, Ariana, Estrella les dedico mi tesis doctoral por el cariño, aprecio y paciencia que han tenido, agradezco su comprensión.

A mi nieta María Paz que ha vivido de cerca los estudios continuos, lo dedico con mucho cariño

A todos mis docentes y amigos por difundir conocimientos y amistad.

TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO

Ítem	Página
AGRADECIMIENTOS	vi
TABLA DE CONTENIDO	vii
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	 1
 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	 4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1 Modelos de estimación de metano entérico en rumiantes	10
2.2.2 Técnicas para medir o estimar las emisiones	12
2.2.2.1 Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	12
2.2.2.2 Cámaras de respiración	17
2.2.2.3 Técnicas in-vitro	20
2.2.2.4 Sensores de Metano series MQ-2, MQ5, MQ7, MQ9, MQ-135	21
2.2.2.5 Software de predicción de metano	24
2.2.2.6 Software de simulación de metano Life Sim	26
2.2.2.7 Aspectos generales de la raza Holstein	28
2.2.2.8 Características reproductivas de la raza Holstein	28
2.2.2.9 Rumiante	29

2.2.2.10 El metano	31
2.2.2.11 Emisión de metano entérico por rumiantes	32
2.2.2.12 Formación de metano entérico	33
2.2.2.13 Meteorismo ruminal.....	33
2.2.2.14 Estimación de la emisión de CH ₄ mediante Life Sim (Dairy v 15.1)	35
2.2.3 Métodos de análisis para determinar el valor nutricional de alimentos para animales	38
2.2.3.1 Sistema de Weende	38
2.3 Definición de términos	40
2.3.1 Arduino UNO.....	40
2.3.2 Definición de protoboard.....	41
2.3.3 ¿Qué es un prototipo?.....	42
2.3.4 ¿Qué es un LCD de 16×2?	44
2.3.5 Sensores de metano MQ-2.....	45
 CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
3.1 Ubicación geográfica del ámbito de estudio.....	47
3.2. Material de campo, prototipo, laboratorio y escritorio.....	49
3.2.1 Material de Campo	49
3.2.2 Material del prototipo	49
3.2.3 Material y equipo de laboratorio	50
3.2.4 Materiales de escritorio.....	50
3.4 Metodología.....	51
3.4.1 Selección del ganado	51
3.4.2 Vaquillonas	56

3.4.2.1 Característica de las unidades experimentales raza Holstein	
– Vacas x Alimento	57
3.4.3 Sistema de Unidades.....	57
3.4.4 Descripción del Sensor MQ-4.....	58
3.4.5 Metodología IPCC 2006 para la Estimación de Metano Ruminal en Ganado:	
Tiers 1, 2 y 3.....	59
3.4.6 Funcionamiento del Software LifeSim para la Estimación de Metano Ruminal	
en Vacunos Alimentados con Rye Grass y Trébol.....	61
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
CAPITULO VII. ANEXOS	80
ANEXOS 1. REPORTE FINAL METANO LIFE SIMVACAS	80
ANEXO 2. MEDICIÓN DE METANO CON SENSORES	125
ANEXO 3. PROTOTIPO DE METANO RUMINAL	139
ANEXO 4. PANTALLA DEL SOFTWARE LIFE SIM.....	140
ANEXO 5. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE PASTO RYE GRASS	143
ANEXO 6. RESULTADOS DE MATERIA SECA.....	146
ANEXO 7. Análisis Estadístico.....	150
ANEXO 8. Análisis de Weende	152
ANEXO 9. Life Sim para vacas en producción.....	156
ANEXO 10. Características del animal	156
ANEXO 11 Clima. <i>Condiciones climáticas del año 2022</i>	160

ANEXO 12 Costos de producción.....	161
ANEXO 13 Ensamblaje del prototipo	161
ANEXO 14 Programa de Arduino para lectura del metano.....	163

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 El SF6 instalado en la vaca.....	15
Figura 2 Estudio de investigación: Cuantificación de metano entérico con SF6	16
Figura 3 Procedimiento etapa pre experimental de Hexafloruro de azufre (SF6).....	16
Figura 4 Procedimiento etapa experimental de Hexafloruro de azufre (SF6).....	17
Figura 5 Esquema simplificado de una cámara de respiración de circuito abierto para Bovinos	18
Figura 6 Esquema del sistema de suministro de gas metano ultrapuro para probar la eficiencia del sistema de cámaras de respiración con una vaca inerte de fibra de vidrio introducido.....	19
Figura 7 Vista de la vaca inerte de fibra de vidrio dentro de la cámara de respiración para mediciones del efecto del volumen dentro de una cámara	19
Figura 7.1 Comparación de sensors MQ2, MQ4, MQ5, MQ7, MQ9, MQ135	22
Figura 8 Placa de tarjeta de Arduino UNO	23
Figura 9. Sensores de gases de la serie MQ para Arduino.....	23
Figura 10 Valores de los sensores MQ de Metano y otros gases	24
Figura 11 Pantalla de inicio software Life Sim (Dairy v15.1)	27
Figura 12 Fermentación de los constituyentes del alimento en los compartimentos digestivos de los rumiantes, dando lugar a la formación de metano	30
Figura 13 Comparación de metano gases ruminales de la vaca y un biodigestor – biogas	36
Figura 13.1 Principales rutas para la producción de CH4 en el rumen tomado de Ramírez et al (2014).....	37

Figura 13.2 <i>Fracciones del análisis inmediato de los alimentos. AOAC (1990)</i>	40
Figura 14 Arduino UNO. Tarjeta electrónica, analógico y digitales.....	41
Figura 15 Protoboard. Placa de prueba para realizar prototipos	42
Figura 16 Prototipo de metano ruminal vista superior	43
Figura 17 Prototipo de metano ruminal vista lateral.....	43
Figura 18 Pantalla LCD 16 x 2 para visualizador información.....	44
Figura 19 <i>Sensor de Metano MQ-4</i>	46
Figura 20 <i>Ubicación geográfica del Centro Poblado Huacariz</i>	48
Figura 21 <i>Ubicación de la Hacienda Huacariz-distrito de Cajamarca-Perú</i>	48
Figura 22 <i>Método gravimétrico m^2 para muestra seca</i>	56
Figura 23 <i>Análisis de Efecto del factor Alimento y Categoría con el sensor de metano</i>	74
Figura 24 <i>Análisis de efecto del factor Categoría y Alimentos con el Life Sim</i>	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Agrupación de vacas en producción y vaquillonas.....	52
Tabla 2 Emisión de metano en el ganado vacuno lechero de la raza Holstein alimentados con Rye Grass mediante programa Life Sim.....	64
Tabla 3 Emisión de Metano en vacas en producción alimentados con Rye Grass mediante Sensor de Metano	64
Tabla 3.1 Análisis de Vacas con Life Sim entre Rye Grass vs Trébol	66
Tabla 4 Emisión de Metano en vacas en producción alimentados con Trébol mediante programa Live Sim.....	66
Tabla 5 Emisión de Metano en vacas en producción alimentados con Trébol mediante Sensor de Metano	67
Tabla 3.2 Análisis de Vacas con Sensor entre Rye Grass VS Trébol.....	69
Tabla 6 Emisión de Metano en vaquillonas alimentados con Rye Grass mediante Live Sim.....	69
Tabla 7 Emisión de Metano en vaquillonas alimentados con Rye Grass mediante Sensor de Metano.....	70
Tabla 3.3 Análisis de Vaquillonas entre Rye Grass VS Trébol con Life Sim	71
Tabla 8 Emisión de Metano en vaquillonas alimentados con Trébol mediante Live Sim	72
Tabla 9 Emisión de Metano en vaquillonas alimentados con Trébol mediante Sensor de Metano.....	72
Tabla 3.4 Análisis de Vaquillonas entre Rye Grass VS Trébol con Sensor de Metano .	73
Tabla 3.5 Análisis de Efectos del Sensor entre vacas y vaquillonas alimentados con Rye Grass y Trébol.....	74
Tabla 3.6 Análisis de Efectos del factor Categoría y Alimentos con el Life Sim	75

RESUMEN

El estudio actual se llevó a cabo en el fundo Huacariz, que se localiza en la provincia de Cajamarca, Perú. Su propósito fue medir la emisión de metano entérico en bovinos de raza Holstein, incluyendo tanto las vacas productivas como las vaquillonas, que fueron alimentadas con dos clases de forraje: Trébol blanco (*Trifolium repens*) y pasto de centeno (*Lolium perenne*). Para tal fin, se utilizaron dos metodologías: una directa, el sensor de metano MQ4, y otra indirecta, el modelo de simulación Life Sim. En vacas en producción alimentadas con Rye Grass, la emisión de metano estimada con Life Sim fue de 342.42 g CH₄ vaca-1 día-1, mientras que con el sensor MQ4 se obtuvo 254.29 g CH₄ vaca-1 día-1. En vacas alimentadas con Trébol, los valores fueron de 338.06 g CH₄ vaca-1 día-1 (Life Sim) y 155.42 g CH₄ vaca-1 día-1 (sensor MQ4). En el caso de las vaquillonas alimentadas con Rye Grass, la emisión fue de 223.80 g CH₄ vaca-1 día-1 (Life Sim) y 180.93 g CH₄ vaca-1 día-1 (sensor); y para las alimentadas con Trébol, los promedios fueron de 223.84 g CH₄ vaca-1 día-1 (Life Sim) y 165.13 g CH₄ vaca-1 día-1 (sensor). Los resultados evidenciaron que el modelo Life Sim tiende a sobreestimar las emisiones en comparación con la medición directa. Asimismo, se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) tanto entre los tipos de forraje (Rye Grass vs. Trébol) como entre las categorías animales (vacas vs. vaquillonas), concluyéndose que la dieta y el estado fisiológico del animal influyen directamente en la producción de metano entérico.

Palabras clave: emisión de metano, metano entérico, materia seca, Life Sim, sensor de metano MQ4, Holstein.

ABSTRACT

The current study was conducted at the Huacariz farm, located in the province of Cajamarca, Peru. Its purpose was to measure enteric methane emissions in Holstein cattle, including both productive cows and heifers, fed two types of forage: white clover (*Trifolium repens*) and ryegrass (*Lolium perenne*). Two methodologies were used: a direct one, the MQ4 methane sensor, and an indirect one, the LifeSim simulation model. In productive cows fed ryegrass, methane emissions estimated with LifeSim were 342.42 g CH₄ cow⁻¹ day⁻¹, while the MQ4 sensor obtained 254.29 g CH₄ cow⁻¹ day⁻¹. In cows fed Clover, the values were 338.06 g CH₄ cow⁻¹ day⁻¹ (Life Sim) and 155.42 g CH₄ cow⁻¹ day⁻¹ (MQ4 sensor). In the case of heifers fed Rye Grass, the emissions were 223.80 g CH₄ cow⁻¹ day⁻¹ (Life Sim) and 180.93 g CH₄ cow⁻¹ day⁻¹ (sensor); and for those fed Clover, the averages were 223.84 g CH₄ cow⁻¹ day⁻¹ (Life Sim) and 165.13 g CH₄ cow⁻¹ day⁻¹ (sensor). The results showed that the Life Sim model tends to overestimate emissions compared to direct measurements. Likewise, statistically significant differences ($p < 0.05$) were identified both between forage types (ryegrass vs. clover) and animal categories (cows vs. heifers), concluding that the animal's diet and physiological status directly influence enteric methane production.

Keywords: methane emission, enteric methane, dry matter, LifeSim, MQ4 methane sensor, Holstein.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La investigación fue realizada en la propiedad de Huacariz, ubicada en el centro poblado menor de Huacariz, que forma parte del departamento y la provincia de Cajamarca, Perú. El estudio trata el problema de las emisiones de metano que provienen del sector ganadero, en particular del ganado vacuno, a causa del significativo efecto que este tiene en la modificación climática. Dado que el metano tiene un alto potencial para calentar el planeta y que constituye entre el 14 % y el 16 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, se destaca la importancia de llevar a cabo una supervisión y control exacto de este gas (Ghassemi Nejad et al., 2024).

La evaluación del impacto ambiental en los sistemas agropecuarios requiere una medición precisa de las emisiones de gases de efecto invernadero, siendo el metano uno de los más relevantes. En América Latina, donde la cría de rumiantes es significativa, el metano generado por la fermentación entérica de estos animales constituye una parte considerable de las emisiones antropogénicas totales de gases de efecto invernadero. Actualmente, los países de la región centran sus esfuerzos principalmente en la cuantificación de estas emisiones y en la elaboración de inventarios nacionales, más que en la aplicación de estrategias efectivas de mitigación (Benaouda et al., 2017).

El metano (CH_4) es un subproducto de la fermentación de los alimentos en el rumen, el cual representa una pérdida de energía para el animal y, desde el punto de vista ambiental, contribuye significativamente al calentamiento global y al cambio climático. En el ámbito de la nutrición animal, la mayoría de las investigaciones se han centrado en reducir las

emisiones de metano, no tanto por su efecto ambiental, sino debido a la ineficiencia energética que genera en el proceso de fermentación ruminal (Karnati et al., 2009).

La investigación adquiere relevancia científica al centrarse en la cuantificación del metano producido por rumiantes. Este análisis resulta fundamental para establecer una línea base que permita identificar qué tipos de alimento generan mayores niveles de metano. Al contar con esta información, se abre la posibilidad de generar valor agregado a partir de la emisión de metano, como el desarrollo de fuentes de energía no convencional, incluyendo biocombustibles y biogás. La implementación de un simulador para el cálculo de emisiones de metano facilita el mejoramiento del manejo de pasturas y proporciona datos útiles sobre la calidad y cantidad de leche producida. La metodología empleada es un enfoque indirecto y no invasivo para los animales, lo que permite cuantificar las emisiones en distintas categorías de ganado. Para este estudio, se consideraron únicamente vacas lecheras y vaquillonas.

En términos tecnológicos, se destaca la medición de agentes físicos como el metano, cuya señal analógica es convertida a digital, almacenada en bases de datos y transmitida en tiempo real desde el campo hacia computadoras o dispositivos móviles. Esta innovación, junto con el simulador, permite establecer parámetros de referencia y continuar investigaciones orientadas a la producción de energía, bio-renovable, biocombustibles y biogás a partir de las emisiones de los rumiantes.

Desde una perspectiva social, el estudio propone la creación y patentación de un prototipo para la medición de emisiones en distintas categorías del ganado bovino, brindando a los ganaderos y a la industria una herramienta útil para el manejo de pasturas, trazabilidad de la leche y actualización de inventarios de emisiones de metano ruminal. Cabe señalar que

se excluyeron otras razas y becerros recién nacidos. La muestra estuvo conformada por 10 vacas lecheras y 10 vaquillonas menores de dos años. Para la recolección de datos, se utilizó el software de simulación Life Sim (Dairy v15.1) en vacas lecheras. En el caso de las vaquillonas, se desarrolló un prototipo en lenguaje C++ que funciona con la interfaz Arduino UNO y sensores MQ2, MQ4, MQ7, MQ9 y MQ135, los cuales permiten medir metano y otros gases derivados de la fermentación ruminal.

Objetivo general: Determinar la emisión de gas metano en vacas lecheras y vaquillonas alimentadas con Rye Grass y Trébol, mediante las pruebas Life Sim y el uso de sensores de metano.

Objetivos específicos: Determinar la emisión de gas metano en vacas en producción alimentadas con Rye Grass mediante los métodos Life Sim y sensores de metano.

Determinar la emisión de gas metano en vacas en producción alimentadas con Trébol mediante los métodos Life Sim y sensores de metano.

Determinar la emisión de gas metano en vaquillonas alimentadas con Rye Grass mediante los métodos Life Sim y sensores de metano.

Determinar la emisión de gas metano en vaquillonas alimentadas con Trébol mediante los métodos Life Sim y sensores de metano.

CAPITULO II

EL MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

La investigación se realizó en la Granja Integral Sostenible Aquiles Escobar, situada en el área de Bosque Seco Tropical, en Yaracuy, Venezuela. El 60 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) del rebaño se debieron a las vacas, según los resultados. La producción de metano en vacas en período de lactancia fue notablemente más alta durante la estación de lluvias que durante la estación seca. En animales en crecimiento, los valores de emisión de metano oscilaron entre 237,20 y 580,84 gramos de CH₄ por kilogramo de peso vivo (g CH₄ kg PV⁻¹). Los más altos se registraron en novillas gestantes y los más bajos, en animales que se encontraban en fases iniciales de crecimiento (Messa Arboleda, 2009).

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental La Raya, que está situado en Cusco. Para simular las condiciones propias de los sistemas de ganadería extensiva, las novillas de ambas razas recibieron únicamente pasto *Brachiaria* no fertilizado. La cromatografía de gases se utilizó para medir los niveles de hexafluoruro de azufre (SF₆) y metano (CH₄). Las emisiones de metano fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre los grupos genéticos; la raza Holstein emitió más metano (299,3 g día⁻¹) que los animales mestizos (264,2 g día⁻¹). De acuerdo a la categoría, las vacas en lactancia generaron más metano (353,8 g día⁻¹) que las vacas secas (268,8 g día⁻¹) y las novillas (222,6 g día⁻¹). A pesar de su capacidad productiva superior, la Holstein mostró menos emisión de metano por cada kilogramo de materia seca consumida (19,1 g kg⁻¹) en comparación con la mestiza (22,0 g kg⁻¹) ($p < 0,05$). Asimismo, las vaquillas que pastaron

en prados fertilizados (sistema intensivo) liberaron más metano ($222,6 \text{ g día}^{-1}$) que las que lo hicieron en prados no fertilizados ($179,2 \text{ g día}^{-1}$), lo cual indica que la emisión es variable dependiendo de la categoría animal y del manejo del sistema productivo (Lipa Ancco, 2017).

Las vacas Holstein que son cruzadas con Cebú emiten metano de una forma semejante ($p > 0.05$) a las vacas Holstein puras, según se ha informado en México. En vacas lactantes, los valores promedios reportados fueron de 463 litros al día por animal; en vacas secas, de 413 litros; y en novillas, de 286 litros. Sin embargo, el mismo grupo de investigadores en Brasil realizó una segunda prueba y comparó nuevamente la producción de metano entre las vacas híbridas de Holstein con Cebú y las vacas Holstein puras. Los resultados de este caso mostraron que las vacas Holstein puras emitían metano en cantidades mucho más elevadas (419 L día^{-1}) que las híbridas (376 L día^{-1}), con una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), a pesar de haber mantenido la misma alimentación. Estos hallazgos señalan que la raza es un factor importante al calcular las emisiones de metano y se debe considerar al hacer los inventarios regionales de gases de efecto invernadero. (Benaouda, González Ronquillo, Molina y Castelán Ortega, 2017).

Una investigación se llevó a cabo en el sureste de Brasil con el objetivo de calcular las tasas de emisión de metano (CH_4) en vacas y novillas que están lactando, utilizando la técnica del gas trazador con hexafluoruro de azufre (SF_6). La cromatografía de gases se utilizó para establecer la cantidad de SF_6 y metano. Se descubrió que las vacas Holstein emiten, en promedio, 299.3 gramos de CH_4 cada día. Cuando se separaron por categoría animal, se observó que las vacas en lactación producían 353,8 g de CH_4 diarios, en comparación con las novillas, que producían 222,6 g al día. Las emisiones experimentaron variaciones notables dependiendo de la categoría de los animales y del nivel de gestión del sistema productivo. (Pedreira et al, 2009).

En la granja lechera "Ukrania", situada en Costa Rica, se utilizó el método del gas trazador hexafluoruro de azufre (SF_6) para calcular las emisiones de metano (CH_4) entérico en vacas que recibían una dieta compuesta por forrajes tropicales. Los resultados indicaron que, en condiciones de estabulación, la emisión diaria de metano por novilla fue de 147 ± 7 gramos de CH_4 ; en contraste, durante el pastoreo se detectó una emisión de 141 ± 16 gramos de CH_4 . Ivankovich-Cruz, S., Barrantes-Guevara, E. y Montenegro-Ballester, J. (2020).

En el Reino Unido, se empleó una cámara respirométrica para determinar la producción de metano. En esta investigación, se determinó que el factor de emisión es de 104.9 ± 10.6 kg de metano por animal al año. Este dato está comprendido entre los factores recomendados para América Latina (72 kg/animal/año) y Norteamérica (128 kg/animal/año) (Negussie et al., 2017).

Se realizó una prueba para emplear el método de trazado con hexafluoruro de azufre (SF_6) y así medir las emisiones de metano entérico (CH_4) en novillas que pastan. La actividad tuvo lugar en el Centro de Producción Animal del IDIAF, que se encuentra en la autopista Duarte km. 24, Santo Domingo Oeste, Pedro Brand, República Dominicana. A una elevación de 90 metros sobre el nivel del mar, la latitud norte es $18^\circ 54' 84''$ y la longitud oeste es $70^\circ 07' 65''$. Se empleó una configuración experimental completamente al azar, en la que se contrastaron tres clases de dieta: el pastoreo de novillas, una mezcla de pastoreo con alimento concentrado y otra mezcla de pastoreo con alimento concentrado y monensina sódica. Se examinaron los niveles de CH_4 entérico, las concentraciones en el ambiente y la ingesta estimada de materia seca (MSI). Se llevaron a cabo 140 sub-muestras gaseosas, que fueron analizadas por medio de cromatografía de gases. Se determinó que, en los grupos de novillas a las que solo se les dio forraje, la media diaria era de 112.96 gramos de CH_4 , 17.99 gramos por kg de materia seca consumida y 0.45 gramos por PV. En los grupos que consumían forraje y alimento concentrado, se registraron emisiones de 128.30 g de CH_4

por día, 0.55 g de CH₄ por PV y 15.68 g de CH₄ por kilogramo de MSI al día. El grupo que consumía forraje, concentrado y monensina mostró emisiones de 0.34 g de CH₄/PV por día, 10.11 g de CH₄ MSI al día y 95.53 g de CH₄ diariamente. Se estableció que la emisión de CH₄ entérico (gramos de CH₄ por día) se incrementa cuando las novillas en pastoreo consumen alimento concentrado; no obstante, el consumo no genera un aumento en las emisiones de CH₄ por kg/MSI. Al incluir monensina en el concentrado, las emisiones de CH₄ se reducen significativamente en comparación con las otras dietas analizadas. (Martínez Cambier, E.E. 2020). Se calculó el metano entérico emitido por el ganado de leche bovino a través de la fermentación ruminal in vitro de forrajes y dietas que proceden de cinco municipios del departamento de Antioquia con clima frío. En cada uno, se escogieron cuatro fincas al azar (20 en total). Se determinó que las emisiones diarias de metano por animal, resultantes de la fermentación in vitro de pastos y dietas, son 443.59 g y 648.80 g, respectivamente. Según Marín Gómez (2013), se calculó que las emisiones de metano entérico de la población bovina lechera analizada (208.128 cabezas) fueron a nivel global.

En México, las actividades agrícolas pueden producir gases de efecto invernadero (GEI), sobre todo metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), no solo a partir de los residuos, sino también por medio del proceso respiratorio del ganado. La teoría TRIZ (Teoría de la Resolución Inventiva de Problemas) es un enfoque ruso novedoso, que posibilita hallar la solución a un problema propuesto. Este trabajo muestra cómo se emplean dos instrumentos TRIZ para crear un prototipo no invasivo que identifica el CH₄ y CO₂ que el ganado expulsa en un equipo real. Las herramientas utilizadas fueron la matriz de contradicciones técnicas y el análisis de nueve pantallas. Mediante estos se determinó que el parámetro a mejorar (A) era el resultado ideal final (IFR): un módulo inalámbrico con un sistema de sensores para cada gas colocado en la cabeza bovina, que transforma los gases detectados

en una señal eléctrica. Esta señal se transmite de manera inalámbrica hasta 1,5 km en espacio libre hacia un receptor para su visualización, representando las partes por millón (ppm) de CH₄ y CO₂ generadas por el bovino durante la medición. (Silva-Martínez et al., 2020).

Se registró en Argentina una producción de metano de 227 y 248 L de CH₄ cabeza⁻¹ día⁻¹, respectivamente. Un peso vivo medio de 382 kg durante seis horas en un pastizal compuesto por gramíneas y leguminosas. Se empleó la técnica SF₆. (Bualo et al. 2014).

En Chile, llevaron a cabo uno de los primeros estudios para cuantificar la producción de metano entérico en el ganado lechero que pastorea en ese país. Asimismo, emplearon el método de SF₆ en una pradera de Rye Grass. El total de metano producido se incrementa de 452 a 500 L CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹. (Muñoz y otros, 2015).

Se realizó un estudio similar en el que se analizó cómo la suplementación con concentrado afectaba la producción de metano en vacas Holstein multíparas, las cuales tenían un peso promedio de 597 kg al final de su período de lactancia (15 kg de leche por vaca y día), alimentándose en un pasto compuesto por *Lolium perenne*. Estos escritores utilizaron el método SF₆ para medir la producción de metano y dos niveles de suplementación concentrada (4 y 8 kg diarios por vaca). Como en la investigación anterior, también esta mostró que los niveles más altos de metano produjeron un incremento, que pasó de 406 L vaca⁻¹ día⁻¹ en las vacas alimentadas con 4 kg de concentrado a 449 L vaca⁻¹ día⁻¹ en las que comieron 8 kg. Sin embargo, en este estudio se ha observado que las vacas del tratamiento con 8 kg de concentrado generaron menos metano ($p < 0.05$) por kilogramo de ración total mezclada que las que recibieron el tratamiento con 4 kg de concentrado (29.5 frente a 33 L CH₄ kg⁻¹ de dieta). (Herrera et al., 2014)

Cuatro cámaras con control ambiental han integrado en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) para medir los gases de efecto invernadero (GEI); dos de ellas están ubicadas en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce, en Buenos Aires, y las otras dos están situadas en el Instituto de Ciencia Animal del Chaco Semiárido, que está en Leales, Tucumán. Cada cámara (ver Figura 5) tiene un volumen cercano a los 23 m³ y mide 2,70 m de altura, 3,70 m de longitud y 2,30 m de anchura. Tienen un revestimiento de acero inoxidable y están hechas de paneles de poliuretano, y sus lados están hechos de vidrio y miden 2 metros por 1,5 metros (de largo y ancho, respectivamente). Poseen en su interior un brete que facilita el acceso al agua y a la comida, además de contar con un sistema que registra automáticamente el consumo en tiempo real. El suelo tiene una cobertura de goma para darle más comodidad al animal, y además incluye una rejilla que permite el drenaje del agua empleada para la limpieza. Además, las cámaras están diseñadas de tal modo que el personal técnico pueda acceder a ellas con seguridad, garantizando así condiciones de protección durante el trabajo. (Pinares-Patiño & Clark, 2010).

La técnica está accesible en varias universidades argentinas y EEA del INTA, y se ha utilizado para analizar forrajes, entre otros propósitos (Cavanagh, 2008).

La rapidez para obtener los resultados (en semanas, porque la incubación generalmente dura entre 24 y 72 horas) y la homogeneidad de las condiciones bioquímicas y microbiológicas del rumen son dos aspectos que sobresalen en comparación con los métodos in vivo. Se considera que los resultados de la producción de metano mediante este método están razonablemente relacionados con los resultados in vivo (Bhatta et al., 2006, 2008); sin embargo, se han reportado hallazgos opuestos (Gerber, PJ; Henderson, B; Makkar, H., 2013).

Se realizó una investigación en la Estación Agraria Santa Ana, que se encuentra en Huancayo, con el propósito de establecer las emisiones de metano entérico en vacas

lactantes y secas que fueron alimentadas mediante un sistema de pastoreo rotativo con trébol y rye grass. La técnica del gas trazador hexafluoruro de azufre (SF_6) fue la empleada para calcular las emisiones. Se registraron emisiones promedio de metano entérico en cinco vacas en lactación, que fueron $358,5 \pm 8,0$ gramos de CH_4 por vaca $^{-1}$ día $^{-1}$. (Salas Riega, C. Y., 2022).

En el marco de una lechería familiar en México, se estableció la emisión de metano entérico mediante el uso de la técnica FTIR (espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier). Se hizo la medición en una cámara de respiración con capacidad de $33,81 \text{ m}^3$, en la cual las vacas estuvieron recluidas por un lapso de 10 minutos. Los datos correspondientes a los últimos tres minutos del periodo fueron los que se registraron.

Se utilizó el equipo portátil Gasmeter DX 4030 para medir metano. Los hallazgos mostraron que el metano emitido por las vacas suplementadas con 6 kg de concentrado fibroso fue de $311,48 \pm 11,22 \text{ g/día}$, mientras que en condiciones sin suplementación la cantidad alcanzó los $340,08 \pm 16,26 \text{ g/día}$. (Villarreal et al., 2016)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Modelos de estimación de metano entérico en rumiantes

Por lo general, las mediciones de emisión de metano requieren equipos especializados y son complicadas y costosas (Lipa Ancco, V., 2020). El CH_4 se calcula a partir de la ingestión de alimentos mediante modelos, que por lo general son creados a partir de datos experimentales anteriores. En circunstancias en las que no se pueden hacer mediciones y es necesario estimar el consumo de alimento, esta metodología suele ser utilizada, aunque puede resultar difícil de conseguir. La habilidad de predecir la producción de metano con exactitud está restringida a las condiciones y suposiciones que se deben satisfacer para cada ecuación específica (Lipa Ancco, V, 2020). En este contexto, todos los trabajos que aplican esta metodología coinciden en que el principal obstáculo es generar las ecuaciones de

predicción, ya que se necesita una gran cantidad de datos provenientes de múltiples ensayos y bajo diversas estrategias o sistemas de gestión a nivel global. (Niu et al., 2018).

El mundo, excepto Estados Unidos, se comprometió a intensificar una respuesta global ante el peligro del cambio climático al reducir las emisiones totales de gases de efecto invernadero en la reunión de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en París, que tuvo lugar en 2015. Es necesario que los países firmantes presenten un inventario nacional de emisiones cada año para poder monitorear el progreso en la reducción de gases de efecto invernadero (GEI). El desarrollo de modelos matemáticos efectivos que la industria ganadera puede usar para calcular sus efectos en el medioambiente se debe a los progresos en la comprensión de la fermentación ruminal. Se pueden categorizar las metodologías de la más simple a la más compleja. El IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático) recomienda emplear las metodologías Tier1, 2 o 3 para cada clase de animal. (Ungerfeld et al., 2018). Los modelos que se emplean con frecuencia para estimar las emisiones de ganado calculan el volumen de metano generado en el rumen a partir del consumo de materia seca del animal y del factor Y_m , que señala la proporción de energía bruta ingerida que se convierte en metano en el tracto digestivo. Por una parte, la cantidad de comida que se ingiere cada día depende esencialmente de factores relacionados con el animal (raza, estado corporal, estado fisiológico y peso vivo) y con la comida (digestibilidad, balance de dieta y disponibilidad). (Marín Gómez, A., 2013).

Las ecuaciones predictivas que se emplean para crear modelos matemáticos para los inventarios nacionales y mundiales provienen de la información obtenida a través de estos métodos se pueden calcular las emisiones de metano generadas por la fermentación de alimentos en el rumen utilizando métodos in vivo e in vitro, así como técnicas predictivas

o estimativas para las emisiones de gases de efecto invernadero, como las que establecen las directrices del IPCC. (Feldkamp et al., 2014).

La evaluación directa de la producción de metano necesita de un equipamiento complicado y, a menudo, caro; por este motivo, se emplean con frecuencia ecuaciones predictivas para calcular las emisiones. Para calcular la emisión de metano a través de la fermentación en el rumen, se han creado algunos modelos concretos y otros han sido modificados o ajustados.

Restrepo y otros (2016). Hay otra táctica para pronosticar la producción de CH₄ de ganado vacuno, que no requiere realizar un gran número de experimentos costosos, y se basa en modelos matemáticos. Por esta razón, se requiere una metodología económica y rápida que permita predecir el valor de producción de CH₄ mediante la elaboración de ecuaciones predictivas. Estos cálculos se llevarían a cabo utilizando datos sin procesar sobre la composición química de la dieta y los parámetros digestivos. (Román y Hernández, 2016).

Además, hay programas que intentan calcular las emisiones por medio de distintas ecuaciones modeladoras, como el programa Life Sim, encargado de prever y/o estimar las emisiones de metano. (León et al. 2006).

2.2.2 Técnicas para medir o estimar las emisiones

2.2.2.1 Hexafluoruro de azufre (SF₆).

La técnica de SF₆, cuando se emplea como gas marcador, tiene la posibilidad de calcular las emisiones de CH₄ que surgen de fuentes entéricas. La técnica consiste en suministrar a los animales bolos intraruminales que contienen hexafluoruro de azufre (SF₆), el cual se va liberando de manera gradual y a un ritmo predecible. En la etapa de medición, se obtienen muestras del aire que los animales expelen al eructar y al exhalar. A continuación, la cromatografía gaseosa se utiliza para analizar estas muestras y determinar el nivel de SF₆ y CH₄. (J. Johnson et al., 1995).

El bolo intraruminal está hecho de un vástago de bronce hueco, con el fondo cerrado y la parte superior abierta. En esta última se coloca el SF₆, que se cierra después con una tuerca de ajuste roscada que tiene un orificio para liberar el gas. Los bolos, después de su elaboración, necesitan un periodo de calibración de 30 a 90 días para establecer su duración y la tasa de liberación del SF₆ (se recomienda entre uno y cuatro mg SF₆ al día para ovinos y bovinos, respectivamente) (Dachraoui, M., 2015).

El bolo que contiene el SF₆ se introduce en el rumen del animal a través de una sonda esofágica, al menos 15 días antes de la primera toma de muestras. (Pinares-Patiño, 2010).

El aire expulsado, resultado de la respiración normal y los eructos, es extraído por succión a través de una línea de muestreo ubicada cerca de las narinas. En el extremo opuesto de esta línea se encuentra un tubo colector hermético (o "canister") que está al vacío (con presión negativa). Los tubos colectores, según Berndt et al. (2014), se diferencian en cuanto a su forma (por ejemplo, U invertida o cilíndrica), su tamaño (de 0,5 a 2,5 litros de capacidad) y su material (por ejemplo, acero inoxidable o PVC). Las líneas de muestreo cuentan con un acople rápido, una manguera (de polietileno o PFA) y un limitador del flujo de aire que restringe el volumen de aire que absorbe el tubo colector por unidad de tiempo. Los restrictores tienen variaciones en cuanto a modelo, material y tasa de flujo de aire que limitan, por lo que su diseño determinará el tamaño del tubo al que pueden conectarse y la duración del periodo de recolección de muestras (Bedoya, 2020).

El muestreo implica colocar tubos colectores y líneas de muestreo sobre los animales durante un tiempo que puede oscilar entre 24 horas (lo más habitual; consiste en sustituir los tubos cada día hasta obtener al menos cinco muestras por animal) y 120 horas, utilizando el mismo juego de tubos, pero con una limitación más estricta del flujo de aire que se toma en la muestra (un cambio diseñado en Argentina). Esta última opción tiene muchas ventajas, ya que posibilita la toma de muestras en sistemas de producción reales, con una

manipulación más reducida de los animales, disminuyendo las modificaciones en el comportamiento y la ingesta de alimentos. Conjuntamente con la recolección de las muestras del aire exhalado por los animales, se obtienen muestras del ambiente donde están ubicados estos para corregir el cálculo de sus emisiones. (Gere et al., 2019).

Luego de que se recolectan las muestras de aire, se mide la concentración de SF₆ y CH₄ en una alícuota a través de cromatografía gaseosa. Se calcula el volumen de CH₄ producido usando la siguiente fórmula (Lassey, K, 2007), dado que se conoce la tasa diaria de liberación de SF₆.

$$\text{CH}_4 \text{ (g/día)} = \text{TLSF}_6 \times \frac{(\text{CH}_4 \text{ M} - \text{CH}_4 \text{ A})}{(\text{SF}_6 \text{ M} - \text{SF}_6 \text{ A})} \times \frac{\text{PM CH}_4}{\text{PM SF}_6} \times 1000$$

Donde:

TLF₆: Velocidad de liberación de SF₆ (mg/día)

M: CH₄ CONCENTRACIÓN CH₄ (ppm, umol mol⁻¹) en la muestra del animal

CH₄ A: concentración de CH₄ en la muestra ambiental (ppm, umol mol⁻¹)

SF₆ M: nivel de SF₆ (ppt, pmol mol⁻¹) en la muestra del animal

SF₆ A: cantidad de SF₆ (ppt, pmol mol⁻¹) en la muestra ambiental

PM CH₄: peso molecular del metano, o sea 16

PM SF₆: masa molecular del SF₆, es decir, 146

Como el equipo está montado sobre los animales, existe la posibilidad de que los tubos se pierdan. Por esta razón, normalmente se colocan dos por animal para garantizar que siempre haya una muestra por cada uno de ellos. Es importante también tener en cuenta que durante

el proceso experimental, los animales tienen que adaptarse al equipo de muestreo y manejo (aproximadamente 30 días).

Figura 1

El SF6 instalado en la vaca.



Figura 2

Estudio de investigación: Cuantificación de metano entérico con SF6. Ramirez-Bribiesca et al. p.121

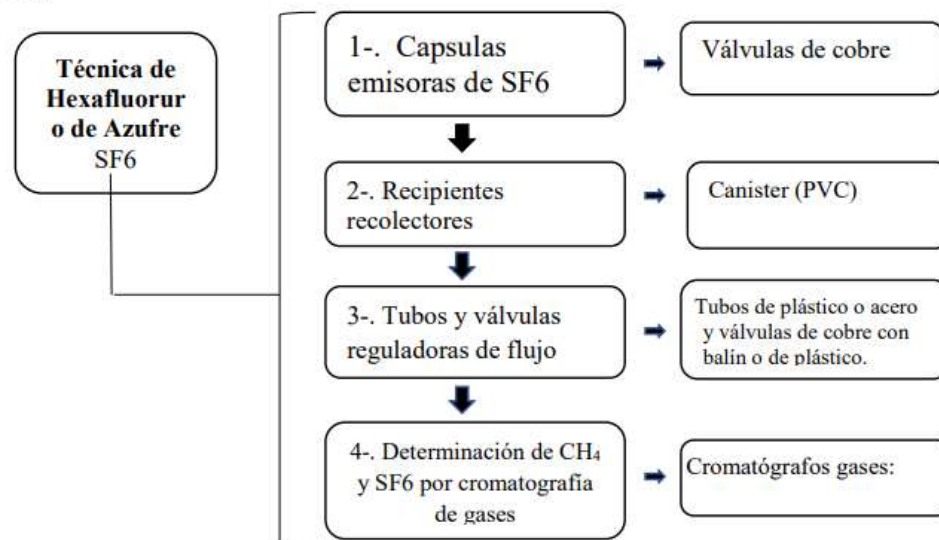


Figura 3

Procedimiento etapa pre. experimental de Hexafluoruro de azufre (SF6). Salas (2022)



Figura 4

Procedimiento etapa experimental de Hexafluoruro de azufre (SF₆). (Salas Riega, C. Y., 2022)



Se ha evaluado la relación entre las emisiones de metano y la microbiota ruminal, así como las prácticas dietarias en animales de recría que pastan en praderas templadas (Medrano, J., 2019) y tropicales (Arroquy et al., 2016; Hernández et al., 2016), además de los animales engordados a corral y las vacas adultas de cría (Gere et al., 2019). Algunos trabajos que se han llevado a cabo en nuestro país con esta técnica han proporcionado información sobre los niveles base de producción de metano entérico (Beltran-Santoyo et. Al, 2016). (Reategui Ordoñez, J, 2017).

2.2.2.2 Cámaras de respiración

Siguiendo la metodología de cálculo que se ha mostrado, las muestras de gas se toman cada seis minutos en el conducto por donde sale el aire de las cámaras. La humedad relativa, la temperatura y el flujo del aire también se miden en ese mismo sitio. En cuanto a las concentraciones, el O₂ (medido con tecnología paramagnética, entre 0 y 100 %), el CO₂

(medido con tecnología infrarroja, celda IR 1520, entre 0 y 5000 ppm) y el CH₄ (también medido con tecnología infrarroja, celda GFX, entre 0 y 100/1000 ppm). Para determinar la producción diaria de CO₂ y CH₄, se consideran el flujo de aire, la concentración de gases y los parámetros ambientales (humedad, temperatura y presión). (Pinares-Patiño, C; Clark, H. 2010).

Las cámaras de respiración o de ambiente controlado tienen como finalidad calcular el total de gases generados por los animales. Se emplearon en investigaciones de calorimetría para contabilizar las necesidades energéticas del animal, donde se llevaban a cabo estudios sobre producción de calor, además de la medición de gases. Hoy en día, las cámaras se emplean para investigar la producción de metano, el consumo de oxígeno y el dióxido de carbono; ocasionalmente también para la producción de hidrógeno. Las cámaras posibilitan el cálculo de la cantidad de gases emitidos por el animal en un lapso específico, a través del flujo de aire que pasa por la cámara y la diferencia entre las concentraciones de gases entrantes y salientes. (Pinares-Patiño, C; Clark, H., 2010).

Figura 5

Diagrama simplificado de una cámara respiratoria de circuito abierto para el ganado bovino. (Pinares-Patiño, 2010, pp. 219-222)

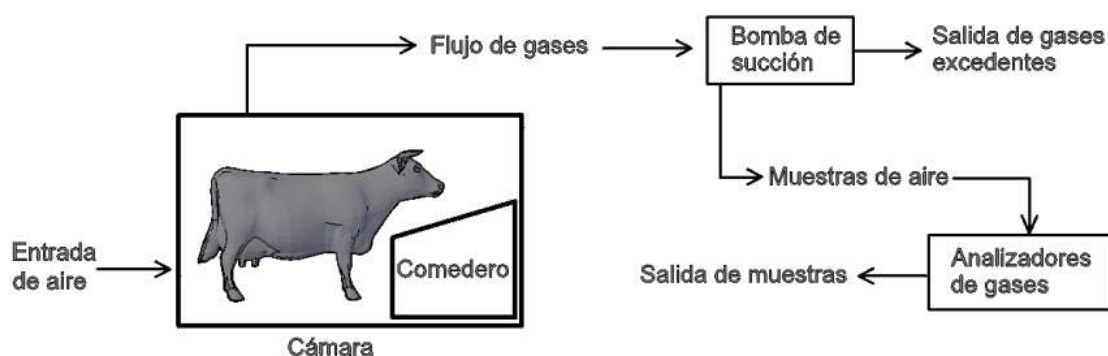


Figura 6

Diagrama del sistema de provisión de gas metano ultrapuro para evaluar la eficacia del sistema de cámaras respiratorias con una vaca inerte hecha de fibra de vidrio. (Pinares-Patiño, 2010, pp. 219-222)

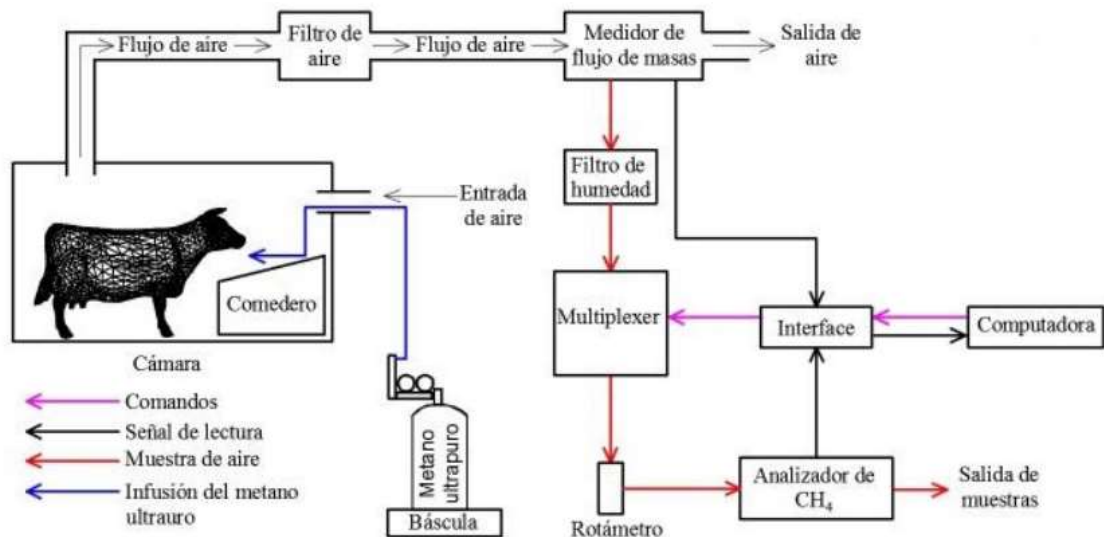


Figura 7

Vaca inerte hecha de fibra de vidrio situada en la cámara de respiración para medir el impacto del volumen dentro de una cámara. (Pinares-Patiño, 2010, pp. 219-222)



Las cámaras posibilitan el control de la humedad y temperatura, y son administradas desde un ordenador en el que se gestiona y monitorea todo el sistema, además de recolectar y guardar información sobre los niveles de gases, parámetros ambientales y consumo de agua y alimento. El sistema también dispone de cámaras, las cuales posibilitan la captura y almacenamiento de imágenes. (Pinares-Patiño, C; Clark, H., 2010).

2.2.2.3 Técnicas in-vitro

La técnica de producción de gas in vitro ha sido empleada durante años para estudiar la fermentación ruminal de los alimentos. Las técnicas in vitro se han vuelto el método más utilizado para las etapas tempranas de investigaciones sobre la capacidad de producción de metano a partir de alimentos y aditivos, debido al creciente interés en explicar la emisión de metano entérico y al hecho de que la calidad alimentaria es uno de sus determinantes principales.

Ejemplos de las condiciones esenciales que se busca replicar en los diversos métodos que se emplean para simular la fermentación ruminal son el pH, la atmósfera anaeróbica y la temperatura (39 °C). Para lograrlo, se utiliza un inóculo ruminal que se combina con una solución de amortiguación para estabilizar el pH y se almacena en un entorno libre de oxígeno. Con el propósito de garantizar que la microbiota sea diversa y refleje el ecosistema ruminal, se obtiene el líquido ruminal de al menos dos o tres animales rumiantes fistulados (ya sean ovinos o bovinos), los cuales siguen una dieta representativa con un equilibrio apropiado entre concentrado y forraje (por ejemplo, 40 % y 60 %, respectivamente).

Durante el proceso de extracción, se extraen las fases líquida y sólida del contenido ruminal, lo que permite la elaboración de un inóculo con microorganismos adherentes y no adherentes. Este líquido se transporta al laboratorio bajo condiciones de temperatura y anaerobiosis reguladas. Los tratamientos experimentales generalmente se incuban a 39 °C durante un día, si bien este periodo puede variar en función de los fines del estudio.

Normalmente, a través de cromatografía de gases, se recolecta y estudia el gas producido al final del periodo de incubación. La producción de metano generalmente se expresa en función del volumen de materia seca u orgánica que ha sido digerida o incubada. Las técnicas que se pueden emplear oscilan entre sistemas por lotes (batch), como los métodos de Theodorou o Hohenheim, y fermentadores de flujo continuo, como el RUSITEC (Czerkawski & Breckenridge, 1977).

Uno de los gases con efecto invernadero que más impacto tiene a nivel global y que promueve el cambio climático es el metano (CH_4). Una de las soluciones más comunes para disminuir este fenómeno consiste en recoger el metano que se genera durante la digestión anaerobia de desechos orgánicos. A causa de su complejidad, el análisis de este proceso es difícil; sin embargo, hay parámetros que posibilitan su supervisión y control. Uno de estos parámetros es el cálculo de las concentraciones de metano y dióxido de carbono (CO_2) en el biogás producido. (Jonker A. et al., 2017)

2.2.2.4 Sensores de Metano series MQ-2, MQ-5, MQ-7, MQ-9, MQ-135

Sensores MQ-5 y MQ-2. Proteger el medio ambiente, que se encuentra cada vez más afectado por la actividad humana, y dentro de este, salvaguardar al ser humano mismo todos los días, se está convirtiendo en algo cada vez más fundamental. La contaminación del aire que respiramos con gases tóxicos es uno de los aspectos más dañinos para la salud. Para detectar y/o medir diversos gases en ambientes controlados, se emplean a menudo los sensores MQ de gases comerciales, que poseen una alta sensibilidad y son de rápida respuesta. Sin embargo, su limitada selectividad limita su uso en situaciones en las que pueden coexistir diferentes tipos de gases. (Nagy et al., 2020)

El sensor de metano, también conocido como MQ-4. A medida que la concentración de metano en ppm aumenta, el sensor muestra una respuesta creciente que sigue un patrón exponencial. Los parámetros de la curva que adapta la señal del sensor MQ-4 en función de la concentración de metano, dentro de un intervalo de 0 a 120 ppm, se refieren al CH₄. Esto indica que para este sensor se debe investigar un rango más extenso (de hasta 10 000 ppm). (Pedreira et al., 2009).

Figura 7.1

Comparación de los sensores MQ2, MQ4, MQ5, MQ7, MQ9 y MQ135.

MQ2	Humo, LPG, Metano, Propano, Hidrógeno	300-10000 ppm	5V	2-3 s	Detección de incendios, calidad del aire
MQ4	Metano, LPG, Gas Natural	200-10000 ppm	5V	1-2 s	Detección de fugas de gas doméstico
MQ7	Monóxido de Carbono (CO)	20-2000 ppm	5V	60-150 s	Monitoreo de CO en garajes, interiores
MQ9	CO, Gas Inflamable	10-1000 ppm (CO), 100-10000 ppm (Gas)	5V	10-30 s	Sistemas de alarma de gás dual
MQ135	Amoniaco, Alcohol, Benceno, Humo, CO ₂	10-1000 ppm	5V	10-30 s	Calidad del aire interior, contaminación

Cada sensor MQ está diseñado para identificar ciertos tipos de gases y posee características específicas que lo hacen adecuado para aplicaciones particulares. El MQ2, por ejemplo, es versátil y tiene la capacidad de detectar humo y diversos gases inflamables; por otro lado, el MQ135 es ideal para monitorear la calidad del aire interior porque puede identificar contaminantes comunes como el benceno y el dióxido de carbono.

El MQ4 se ha perfeccionado para detectar metano y gases naturales, lo que lo hace adecuado para hallar fugas en residencias. El MQ7, por su parte, se utiliza principalmente

para detectar monóxido de carbono, lo cual es crucial en áreas cerradas como los garajes. El MQ9 puede detectar gases inflamables y monóxido de carbono, lo cual le facilita un uso más amplio en la seguridad del hogar.

Figura 8

Tarjeta de Arduino UNO. (Cotacallapa G. Q. et al., 2021).

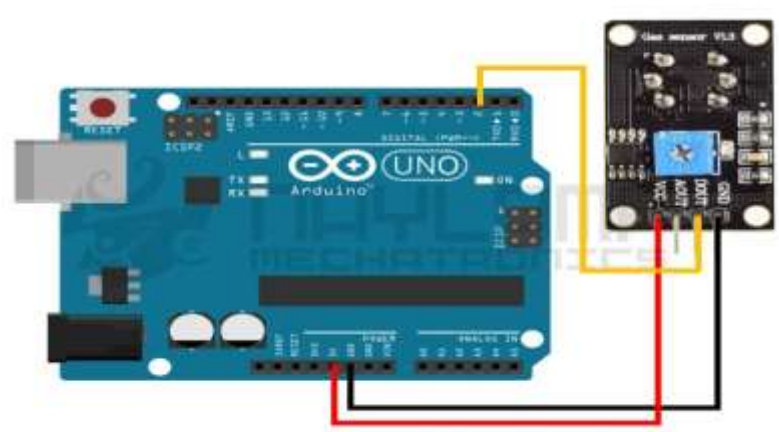


Figura 9

Sensores de gases MQ para Arduino










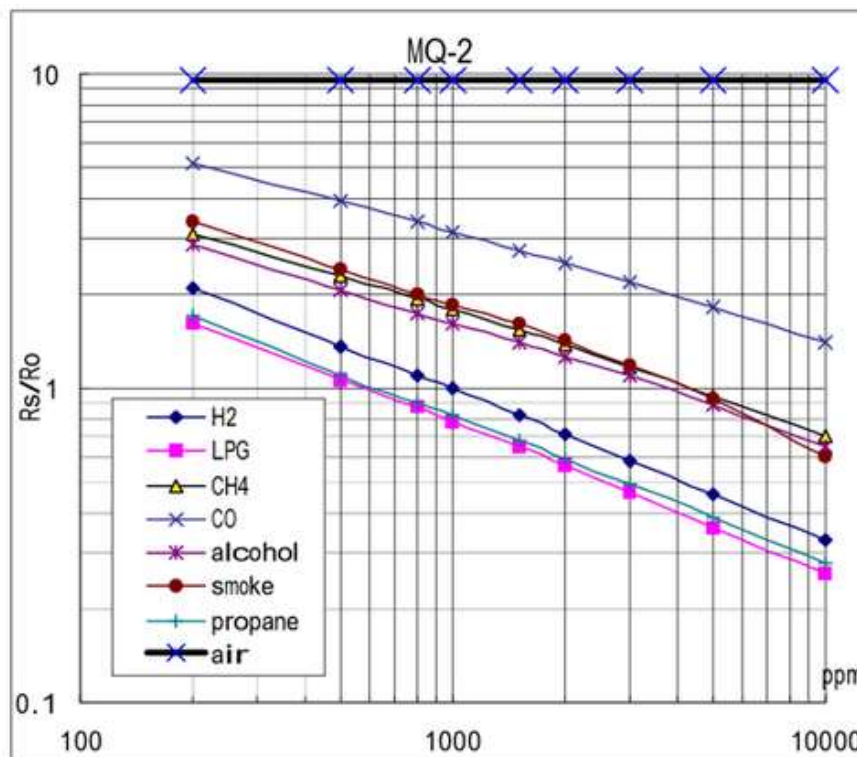
	MQ-2 Gases combustibles Humo		MQ-7 Monóxido de carbono
	MQ-3 Vapor de alcohol		MQ-8 Hidrógeno
	MQ-4 Gas natural Metano		MQ-9 Monóxido de carbono Gases combustibles
	MQ-5 Gas natural		MQ-135 Amoníaco Benceno Vapor de alcohol Humo
	MQ-6 Propano		

Figura 10

Valores de los sensores MQ2 para metano y otros tipos de gases



2.2.2.5 Softwares de predicción de metano

Hoy en día, hay una variedad de investigaciones que buscan definir ecuaciones predictivas para las emisiones de metano (Grainger et al. 2007; Yan et al. 2006). La mayoría de las ecuaciones que pronostican el metano se basan en la base 24 para estimar el consumo de materia seca (CMS), pues la producción de este gas está directamente relacionada con esta variable (Buddle et al. 2011; Jonker et al. 2017). Sin embargo, se sabe que la cantidad de metano que se emite también depende de la calidad de los alimentos ingeridos (Boadi et al. 2002; IPCC 2007). La investigación de Santiago-Juárez et al. (2016) muestra que las ecuaciones que toman en cuenta la concentración de fibra detergente neutro (FDN) y la energía metabolizable (EM) son las más efectivas, ya que permiten una predicción más exacta de las emisiones de metano y disminuyen el margen de error. Asimismo, para calcular la producción de metano, se utilizan modelos predictivos de emisión basados en el

balance de fermentación de los componentes alimenticios. A pesar de que estas ecuaciones son valiosas, la capacidad para prever la emisión de metano se ve restringida por las condiciones y supuestos requeridos para cada una de ellas, especialmente en circunstancias de pastoreo (Moscoso, J., et. al., 2017). Existen varios programas de software que utilizan ecuaciones para prever el metano. Uno de ellos es Life Sim v15.1, un modelo diseñado con el propósito de simular y analizar la producción bajo diferentes contextos de estrategias alimentarias en relación a su desempeño en términos biofísicos y económicos. Asimismo, calcula las emisiones de CH₄ a través de las siguientes fórmulas: (León-Velarde et al, 2006)

$$\text{CH}_4 \text{ (g/d)} = 2.54 + 19.14 \times \text{CMS}$$

$$\text{CH}_4 \text{ (g/d)} = 18 + 22.5 \times \text{CMS}$$

$$\text{CH}_4 \text{ (g/d)} = 38 + 19.22 \times \text{CMS}$$

$$\text{CH}_4 \text{ (g/d)} = -66 + 39.2 \times \text{CMS} - 0.64 \times \text{CMS}^2$$

Para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la fermentación entérica del ganado, se requiere disponer de diversas variables para definir algunos de los factores de emisión que se emplearán. Además, se necesita el empleo de factores de emisión que son proporcionados por el IPCC, los cuales deben ser aplicados debido a la falta de factores nacionales. Según el IPCC Nivel 1, la emisión de metano del ganado lechero vacuno procedente de la fermentación entérica en el año 2012 fue de 74.57 kg de CH₄ por cabeza⁻¹ año⁻¹ (MINAM 2016: 151).

Se empleó la metodología Nivel 1 del IPCC (2006) y se descubrió que, en el Perú, en 2006, la emisión de CH₄ de los distintos sistemas de producción animal alcanzó los 472 Gg, lo que equivale a un aumento del 25% con respecto al año 1994. Los principales emisores de metano fueron la fermentación entérica y el estiércol. El ganado vacuno es el que más aporta a la emisión total de metano en el país, con un 64%. Además, el 11% y el 6.8% de

la emisión total de CH₄ proviene de las industrias ganaderas de Cajamarca y Puno, respectivamente. (Fernández Rivas, L., 2015)

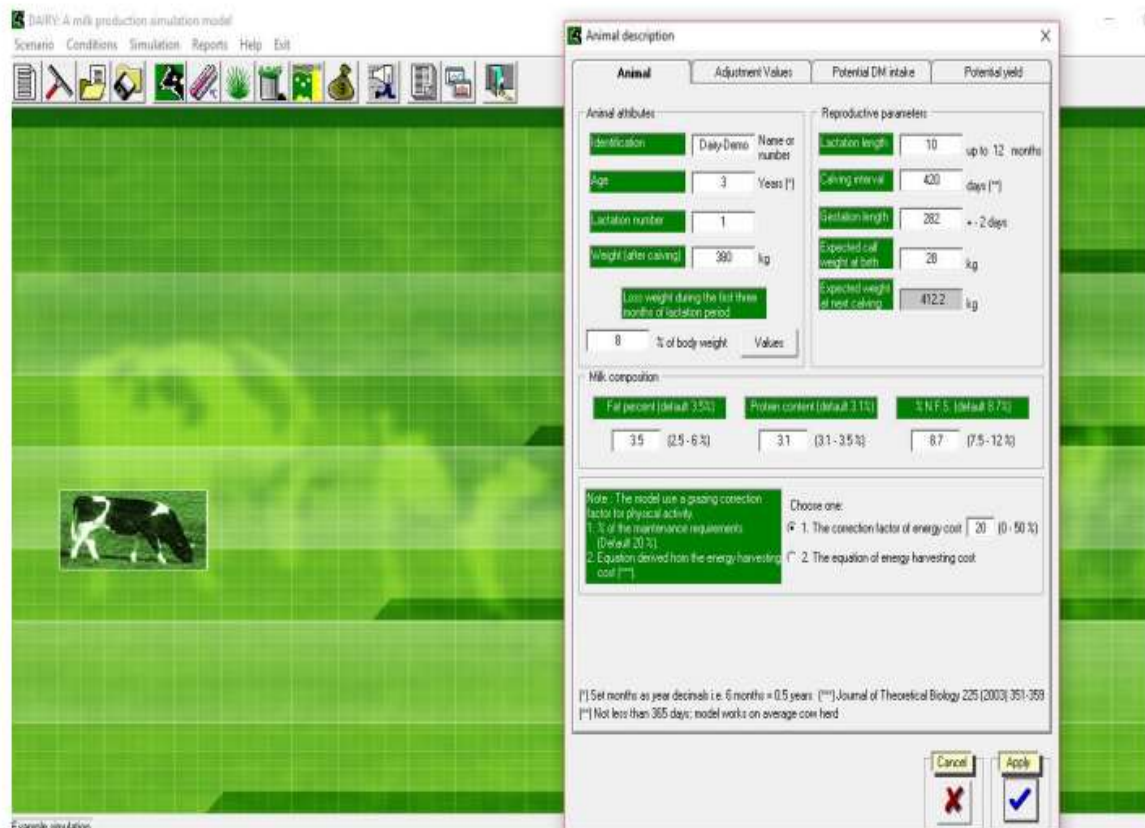
2.2.2.6 Softwares de simulación de metano Life Sim

El modelo Life Sim fue creado por un grupo de la División de Sistemas de producción y el Ambiente del Centro Internacional de la Papa. Este modelo incluye cuatro modelos particulares vinculados a rumiantes, que son las cabras, los búfalos, las vacas lecheras y el ganado de carne, además de uno para no rumiantes: los cerdos. (León-Velarde et al., 2006).

Las características de los animales, la clase de comida, el uso de suplementos alimenticios, las condiciones climáticas y el costo de los productos son requeridas por el modelo como datos de entrada. Además de estimar las emisiones de metano, calcula el volumen de estiércol generado y la proporción de nitrógeno en el mismo (León-Velarde et al. 2006).

Figura 11

Pantalla principal del software Life Sim (Dairy versión 15.1)



Utiliza la siguiente fórmula:

litros de metano (CH₄)/día

Metano/unidad de alimento = _____

Kg MS consumida/día

Emisión de metano por leche producida relacionada a la emisión de la cantidad de producto.

Los valores fueron obtenidos usando la formula siguiente:

Metano (l)/día

Metano/kg leche = _____

Kg leche/día

Producción de excretas. Es la cantidad de boñiga o excretas producidas basadas en la cantidad de alimentos digestibles consumidos por los animales.

Metano y excrementos

Emisión total de metano: 139,91 litros por año

Emisión total de metano: 100,17 kg por año

Excreción de estiércol: 1387,40 kg de materia seca por animal y cada año

Proporción de nitrógeno en las heces: 3,13%

Nitrógeno excretado en total: 43,45 kg por año

Nitrógeno expulsado por día: 0,119 kg/día

Las salidas de los modelos Life Sim abarcan la producción esperada de leche durante todo el período de lactancia, las fluctuaciones en el peso corporal a lo largo del mismo lapso, el incremento de peso durante una etapa de crecimiento o engorde, la cantidad generada de estiércol y un cálculo aproximado de las emisiones de metano. Asimismo, según el tipo de ganado, el modelo ofrece cálculos acerca de los costos totales de producción por vaca en cada lactancia y del costo promedio por kilogramo de leche o aumento de peso. Los seis componentes esenciales de entrada en los modelos Life Sim son: costos, clima, uso de suplementos, estrategia para suplementar, animales y forrajes o pasturas cortadas. El componente animal incluye información que considera la condición física del animal, su potencial genético y cómo reacciona a los nutrientes que proveen el forraje cortado, la pastura y los suplementos. Los modelos proyectan las reacciones en base al consumo de proteínas y energía. No obstante, utilizan el valor mínimo estimado para la producción de leche o para el aumento de peso, que se obtiene a partir del consumo de energía o proteínas. El componente de la pastura es dinámico y está condicionado por la manera en que se distribuyen las precipitaciones y la temperatura a lo largo del año. Estos factores tienen un efecto tanto sobre el rendimiento animal como sobre el volumen y la calidad del forraje. El

módulo de ingreso de suplementos considera tanto las propiedades nutricionales de los mismos como la cantidad que se les brinda a los animales, y también calcula los nutrientes extra que se proporcionan al ganado. Cada módulo tiene un submódulo que lleva un registro de la secuencia preferencial con la que se consumen las diferentes fuentes de alimento. El módulo de clima determina cómo la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa influyen en el consumo de alimentos y cómo inciden en la producción de carne y leche. El módulo de costos permite que se introduzcan los datos necesarios para llevar a cabo un análisis costo-beneficio, el cual se basa en el gasto diario relacionado con la alimentación y su participación en los costos totales en comparación con la producción de leche. (León-Velarde et al., 2003).

2.2.2.7 Aspectos generales de la raza Holstein

Esta raza es la que más abunda en el mundo, así como también en Perú, en términos de la industria de producción de leche. Es la más frecuente en las zonas del norte y el altiplano. Es la raza lechera de mayor peso, con un contenido más bajo de sólidos totales en su leche; además, es una de las que produce más leche. Se distingue por su distintiva marca de color (Holstein Roja y Holstein con color habitual) y es dócil. (Wendorff B. y Paulus K., 2011).

2.2.2.8 Características reproductivas de la raza Holstein

Es esencial estar organizados para cuidar y criar a las novillas. Durante los primeros seis meses de vida, una ternera alcanza el 50% de su altura máxima. Las terneras necesitan una alimentación apropiada. Para asegurar que, cuando alcancen la edad de preñez, tengan más de 380 a 390 kilos entre los 13 y los 14 meses, es importante tener en cuenta el contenido proteico y energético de las raciones durante todas las fases del crecimiento. (Lee Turner B., 2011).

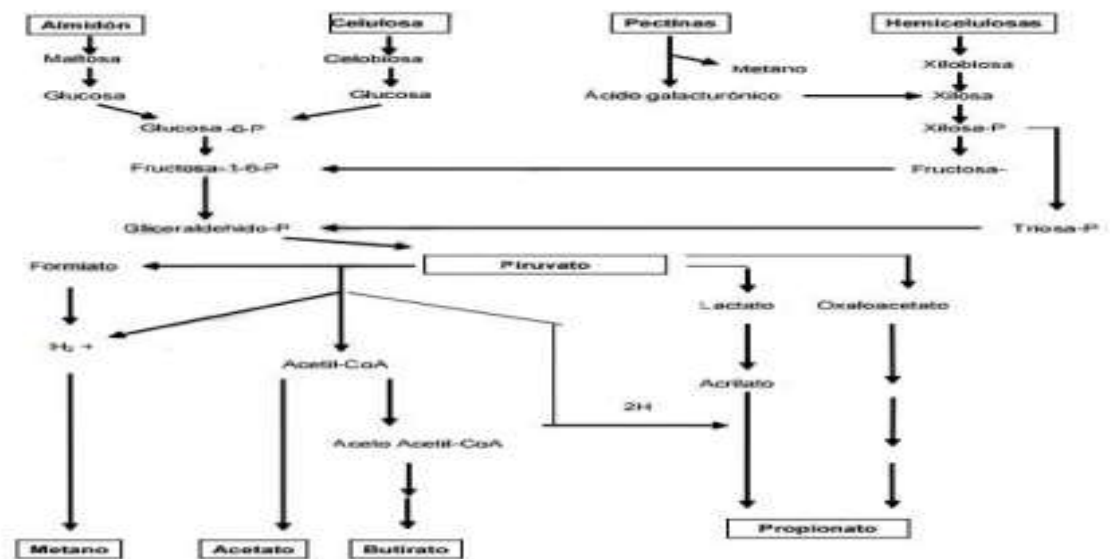
Los datos sobre la producción y la reproducción fueron extraídos del cuaderno de registro de Huacariz (consulte los anexos 4, 5, 6 y 7).

2.2.2.9 Rumiante

Estos animales consumen comida rica en pectinas, celulosa y hemicelulosa, por lo que requieren un sistema digestivo capaz de descomponerlas (algo que los humanos no podemos hacer). Para conseguir esto, la evolución ha generado una serie de especies animales que albergan en su estómago a una población microbiana compuesta por bacterias, protozoos y hongos. Estos microorganismos tienen la habilidad de transformar esta celulosa en nutrientes fundamentales para los animales. El estómago está dividido en cuatro partes: el rumen (también conocido como panza), el retículo (o redecilla o red), el omaso (librillo) y el abomaso (cuajar). (Relling, 2006).

Figura 12

Fermentación de los componentes del alimento en las cavidades digestivas de los rumiantes, lo que produce metano.



Modificado de: Czerkawski, 1986.

Sin embargo, un tercio de la comida consumida se traslada del retículo y el rumen al omaso y abomaso sin fermentar; esta comida transporta una parte importante de la flora ruminal

hacia el abomaso. El proceso digestivo que tiene lugar en el abomaso y el duodeno es similar al que ocurre en los animales con estómago único. La absorción de ácidos grasos volátiles y amoníaco continúa en el abomaso, así como la absorción de cantidades pequeñas de otros nutrientes. En el duodeno, los nutrientes liberados durante la digestión de los alimentos no fermentados en el rumen y de los microorganismos son absorbidos. (Hill et al., 2006).

La comida que no se digiere en el duodeno y en el abomaso pasa al intestino grueso, donde una parte de los nutrientes es fermentada por la flora microbiana del ciego y el colon; lo demás se excreta a través de las heces.

2.2.2.10 El metano

El metano (CH_4) es un subproducto de la fermentación que sufren los alimentos en el rumen; desde una perspectiva medioambiental, esto supone una pérdida a nivel energético y favorece el calentamiento global y el cambio climático a escala global. La investigación sobre nutrición animal se ha enfocado, principalmente, en encontrar formas de reducir las emisiones de CH_4 , no por la contribución que el CH_4 tiene en el calentamiento global, sino porque existe una ineficiencia energética en el rumen. Sin embargo, últimamente se ha prestado más atención a su posible participación en el cambio climático. (Johnson, K. A. y Johnson, D. E., 1995); (Van Amstel A., 2005). (Karnati et al, 2005).

Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) en la atmósfera son contribuidas en gran medida por la producción ganadera y la agricultura. Por estos motivos, se están realizando esfuerzos para reducir las emisiones y prevenir el calentamiento global, de manera que el sistema climático natural del planeta esté protegido. Se considera que los sistemas de producción animal sostenibles deben tener como objetivo disminuir la generación de CH_4 . (Carmona, J. C.; Bolívar, D. M.; Giraldo, L. A., 2005).

2.2.2.11 Emisión de metano entérico por rumiantes

El metano es el gas de efecto invernadero más importante producido por la ganadería, de acuerdo con Lassey (2007); se genera a partir de la fermentación entérica. Knapp et al. (2014) sostienen que los rumiantes en pastoreo con forrajes de calidad deficiente son responsables del 17% de las emisiones mundiales de CH₄ producidas por la fermentación entérica, las cuales constituyen el 75% total de estas emisiones (Leng y Kunju, 1993). Esto ocurre porque el animal no puede utilizar el CH₄, por lo tanto tiene que eliminarlo en una cantidad más alta mediante la exhalación o los eructos, además de otros gases producidos en el rumen. Esto causa que el ganado tenga una eficiencia energética deficiente; entre un 2 y un 12 % de la energía bruta adquirida al consumir alimentos se pierde en forma de CH₄ (Johnson y Johnson, 1995; Pinares-Patiño et al., 2003; López y Newbold, 2007; Vlamin, J, 2008). En tanto, cuando su pasto tiene una digestibilidad del 60 al 80%, el ganado que pasta pierde entre el 8 y el 14% de la energía digestible que consume (Cottle et al. 2011; Lassey, K, 2007). El rumen es el sitio en el que la digestión de los nutrientes tiene lugar en un 60-65%, mientras que el intestino delgado lo hace en cerca del 30% y el intestino grueso entre cinco y diez por ciento (la importancia del intestino grueso aumenta cuando las raciones son difíciles de digerir, ya que recibe más comida). El rumen produce entre el 87 y el 92% del metano entérico, al tiempo que entre el 8 y el 13% restante se origina en el intestino grueso. El 98% de la producción total de CH₄, generada en el intestino grueso y en el rumen, se libera por eructos a través de la boca; el 2% que queda se expulsa por las heces. De acuerdo con Blas et al. (2008), el 89% del metano producido en el ciego y en el intestino grueso (intestino posterior) se incorpora a la sangre y se expulsa por medio de la espiración, lo cual explica que la principal emisión ocurra a través de la boca. (Marín, 2013).

2.2.2.12 Formación de metano entérico.

El metano (CH₄) es un gas de efecto invernadero generado en el rumen de los animales rumiantes, como las vacas, mientras estos realizan la digestión. La fermentación anaeróbica de los carbohidratos presentes en forrajes y otros alimentos que consume el animal es la manera en que los microorganismos llevan a cabo este proceso. A continuación, se explica la producción de metano en el rumen de forma secuencial.

Formación del Metano:

Paso 1: Ingestión y llegada al rumen.

La vaca se alimenta de comidas que contienen almidones, azúcares y carbohidratos estructurales (como la hemicelulosa y la celulosa). Estos alimentos llegan al rumen, que es el primer compartimento de los cuatro que tiene el estómago.

Paso 2: Fermentación a nivel microbiano

Los carbohidratos son descompuestos por protozoos, hongos y bacterias anaerobias en el rumen. La celulosa se transforma en glucosa, que a su vez es fermentada y produce dióxido de carbono (CO₂), ácidos grasos volátiles (AGV) e hidrógeno (H₂).

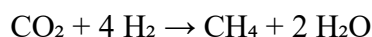
Reacción simplificada:



Paso 3: Metanogénesis

Las arqueas metanogénicas emplean el dióxido de carbono (CO₂) y el hidrógeno (H₂) generados en la fermentación para producir metano (CH₄). Este proceso recibe el nombre de metanogénesis.

Reacción principal:



Este proceso ayuda a mantener el equilibrio de hidrógeno en el rumen, favoreciendo una fermentación eficiente.

Cuarta etapa: Expulsión de metano en forma de eructo

El metano que se produce se concentra en el rumen y se expulsa, sobre todo, a través de los eructos. Esto supone una pérdida de energía para el animal (del 2% al 12% de la energía bruta del alimento) y ayuda a que se emitan gases con efecto invernadero.

La actividad de microorganismos en condiciones anaerobias es lo que genera el proceso natural de producción de metano en el rumen. Comprender este procedimiento es esencial para desarrollar estrategias de mitigación que reduzcan las emisiones de metano y mejoren la eficacia alimentaria en el ganado bovino. (Janssen y Kirs, 2008); (Hristov et al., 2013); (IPCC, 2006); (Moraes et al., 2014). El metano entérico es un subproducto de la fermentación anaerobia que se lleva a cabo en el rumen. Este subproducto es el resultado de una complicada relación simbiótica entre diversos grupos microbianos que están distribuidos por todo el sistema digestivo del rumiante (Van Soest PJ, 1994). Los microorganismos del rumen descomponen los carbohidratos de la alimentación y los convierten, sobre todo, en ácidos grasos volátiles (AGV), como el butirato, el acetato y el propionato. El hidrógeno (H_2) se produce en el proceso de síntesis de acetato y butirato, y para preservar la eficacia energética de la fermentación anaerobia, es necesario eliminarlo (Beauchemin et al., 2008). Las rutas fundamentales para eliminar hidrógeno en el rumen abarcan la creación de metano (CH_4), la elaboración de ácido propiónico y la biohidrogenación de ácidos grasos insaturados (Van Soest P.J, 1994).

Methanobrevibacter ruminantium, *Methanobacterium formicicum* y *Methanomicrobium mobile* son algunos de los metanógenos pertenecientes al dominio Archaea que generan metano mediante la reducción del dióxido de carbono (Church DC, 1983).

El efecto de los forrajes leguminosos en la reducción de las emisiones de metano (Vlaming et al., 2008) se observa en que las vacas alimentadas con dietas de gramínea + leguminosa eliminaron 170 g CH₄ día⁻¹, mientras que las alimentadas con dietas solo de leguminosa lo hicieron con 124 g CH₄ día⁻¹.

Las investigaciones de digestión in vitro han revelado que los prados de trébol blanco emiten menos metano entérico (CH₄) que los prados de gramíneas perennes, lo cual se debe a las variaciones en su constitución química y en la dinámica de la fermentación del rumen (Purcell et al. 2012).

Margan et al. (1988) llevaron a cabo los primeros estudios comparativos sobre la producción de metano en las especies C3 y C4. Ellos determinaron que las ovejas que consumieron especies C4 (*Setaria sphacelata* y *Digitaria decumbens*) generaron un 14,3 % más de metano por cada unidad de energía digestible ingerida que aquellas alimentadas con especies C3 (trébol blanco (*Trifolium repens*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*)). Se ha encontrado que consumir especies C4 en lugar de C3 está asociado con una producción reducida de carne y/o leche. Esto se traduce en una mayor emisión de metano por cada unidad del producto (es decir, la intensidad de emisión) (Hegarty RS, 2011).

2.2.2.13 Meteorismo ruminal

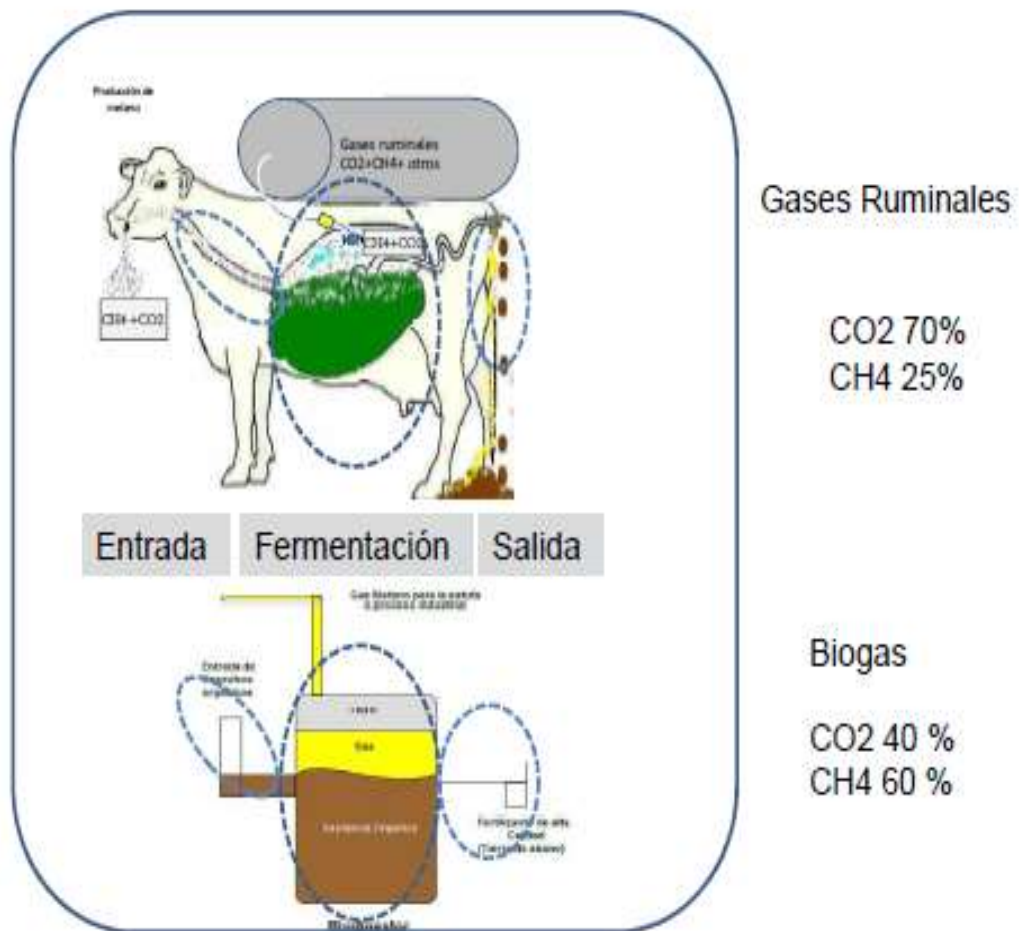
Se genera una gran cantidad de gas durante el proceso de fermentación en el rumen. Se estima que una vaca de 600 kg ingiere diariamente 18 kg de materia orgánica, la cual produce 535 litros de gas metano (CH₄) que se expulsa sobre todo a través del eructo. (Contreras M, 2010).

Según Dall-Orsoletta, C. et al (2016), la mezcla de gases que se encuentra normalmente en el rumen contiene: 65% de dióxido de carbono (CO₂), 27% de metano (CH₄), 7% de nitrógeno (N₂), 0,6% de oxígeno (O₂), 0,2% de hidrógeno (H₂) y 0,01% de ácido sulfhídrico (H₂S).

Figura 13

Comparación de metano gases ruminales de la vaca y un biodigestor – biogas. Contreras (2010).

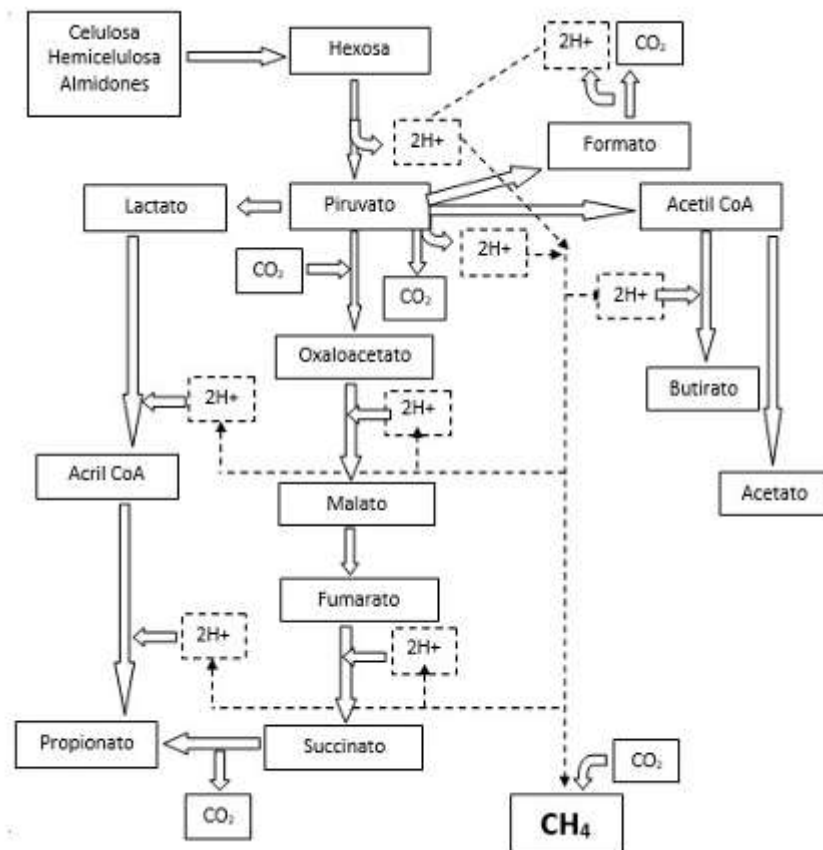
Comparación de un bovino y un biodigestor



Al modificar la fermentación ruminal y al desviar o inhibir los iones de hidrógeno directamente de las bacterias metanogénicas, estas prácticas alimentarias disminuyen las emisiones de metano.

Figura 13.1

Principales rutas para la producción de CH₄ en el rumen. Tomado de Ramírez et al (2014).



Factores alimentarios que afectan la metanogénesis Según Carmona et al. (2005), el rendimiento de los rumiantes depende de la dieta, y cuando las pasturas tienen bajo contenido nutritivo en términos de carbohidratos solubles y proteínas, con un estado de maduración avanzado y un alto nivel lignocelulósico, además de una relación inadecuada entre gramíneas y leguminosas, baja digestibilidad y una tasa elevada de pasaje a través del tracto gastrointestinal, existe una mayor influencia sobre la cantidad de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos. Estos regulan la producción de hidrógeno y aumentan la producción de metano en el rumen.

2.2.2.14 Estimación de la emisión de CH₄ mediante Life Sim (Dairy v 15.1)

Se llevaron a cabo las simulaciones con el Software Life Sim (Dairy v 15.1) basadas en los datos recopilados y descritos anteriormente, cuyos resultados se refieren a la emisión de CH₄ en kg vaca-1año-1.

Para calcular la emisión de metano en las circunstancias actuales de gestión, utilizando el software Life Sim (Dairy v 15.1), se incorporaron datos sobre la caracterización del ganado vacuno en la pestaña "Animal description", teniendo en cuenta los parámetros productivos y reproductivos de cada animal. Luego, se registraron mensualmente los detalles del clima (humedad, temperatura y velocidad del viento). correspondiente al año 2021, en la pestaña Weather conditions, luego en la pestaña Pasture description, se ingresa las características de la pastura: disponibilidad de materia seca por mes (kgMSha-1), porcentaje de digestibilidad, porcentaje de proteína, se considera un dato anual, contenido de materia seca (%) y carga animal, en la pestaña Supplement data, se ingresa información del concentrado para las combinaciones de tratamiento. Cabe señalar que para las combinaciones de tratamiento solo pastura no se introdujo ninguna información desactivando el check de esta pestaña. El software nos brinda la posibilidad de desactivarlo cuando no está concentrado. Por último, en la pestaña "data económica" introducimos los costos de insumos y para calcular la emisión de metano hacemos clic en "Simulation". De igual modo, en la pestaña "text reports" conseguimos los datos del metano que emite cada vaca anualmente. (León et al, 2006).

2.2.3 Métodos de análisis para determinar el valor nutricional de alimentos para animales

2.2.3.1 Sistema de Weende

El sistema de Weende es un conjunto de métodos analíticos que se creó en Alemania, en la estación experimental de Weende, y desde 1864 se emplea para el análisis aproximado de

los alimentos. Las técnicas analíticas experimentaron escasos cambios, excepto el nitrógeno, que se determina de acuerdo con el método Kjeldahl (AOAC, 1990 a, b).

Los análisis se llevan a cabo de acuerdo con lo que se muestra en la figura 2 y proporcionan información sobre algunos componentes nutricionales. Los análisis regulares por medio del sistema Weende proporcionan los componentes (o fracciones) de proteínas brutas, fibra bruta, extracto etéreo, humedad, cenizas o materia mineral y extractos no nitrogenados. Se consideran aproximativas esas fracciones porque incluyen otros compuestos similares. Por ejemplo, todos los compuestos que contienen nitrógeno (tanto proteicos como no proteicos) están incluidos en la fracción de proteína bruta, mientras que en la fracción de extracto etéreo se encuentran todos los compuestos que son solubles en éter. (AOAC, 1990).

Este método da como resultado cinco principios nutritivos básicos que comprenden los compuestos enumerados a continuación.

1.Cenizas: Materiales inorgánicos en general

2.Proteína bruta (PB): Bases nitrogenadas, amidas, péptidos, aminoácidos (Aas), proteínas, nitrógeno vitamínico...

3.Grasa bruta (GB) o extracto etéreo (EE): Ceras, grasas, pigmentos, resinas, vitaminas que se disuelven en grasa...

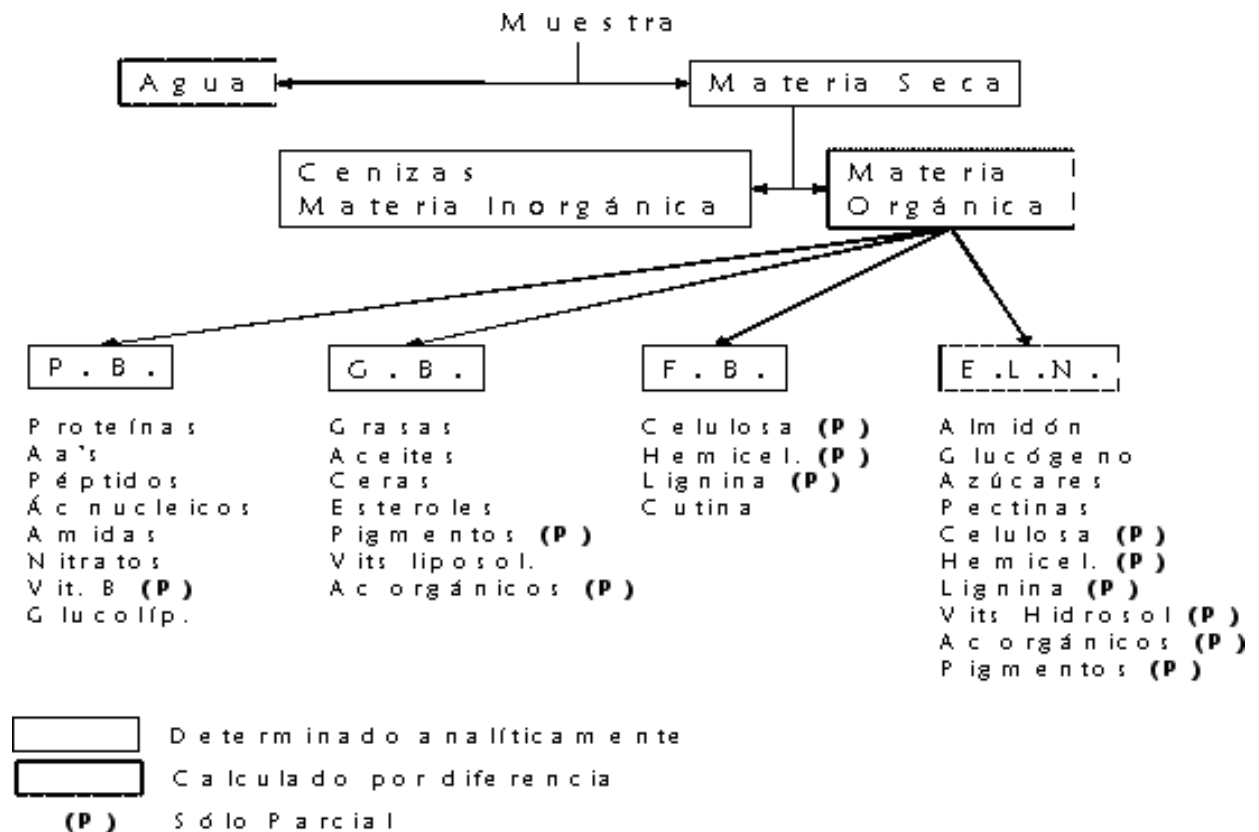
4.Fibra cruda (FC): Hemicelulosa, celulosa, lignina insoluble, cutina...

5.Sustancias extraídas que no contienen nitrógeno (SELN, MELN, ELN): Pectinas, pigmentos, hemicelulosa, glucógeno, azúcares, celulosa, vitaminas solubles en agua, ácidos grasos de bajo peso molecular...

Las cuatro primeras fracciones (Cnz, PB, FB y EE) se derivan de análisis específicos. La quinta fracción (ELN), en cambio, se determina sustrayendo las anteriores del porcentaje de MS.

Figura 13.2

Fracciones del análisis inmediato de los alimentos. AOAC (1990).



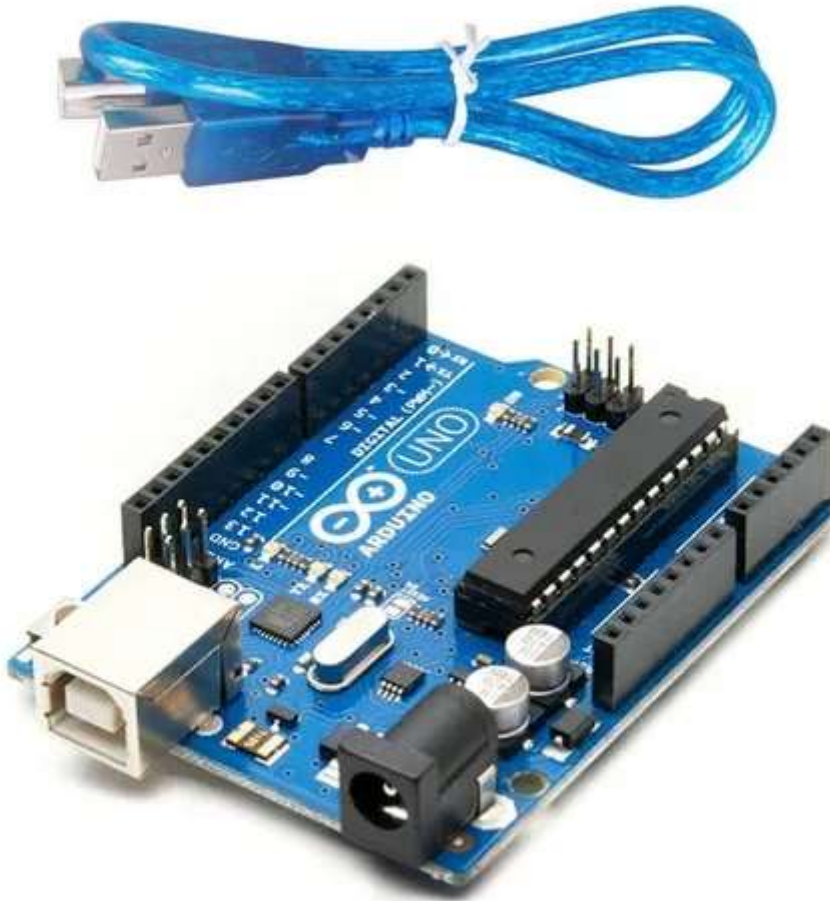
2.3. Definición de términos

2.3.1 Arduino UNO

Una placa de hardware libre que incluye un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra (que se encuentran conectados internamente a las patillas de entrada/salida del microcontrolador), lo cual posibilita que diferentes actuadores y sensores se conecten allí con gran facilidad y comodidad. (Torrente, O., 2013).

Figura 14

Arduino UNO. Tarjeta electrónica con entradas analógicas y digitales



Nota. <https://www.electrontools.com/Home/WP/que-es-un-protoboard-y-para-que-sirve/>.

consultado 26/06/2022

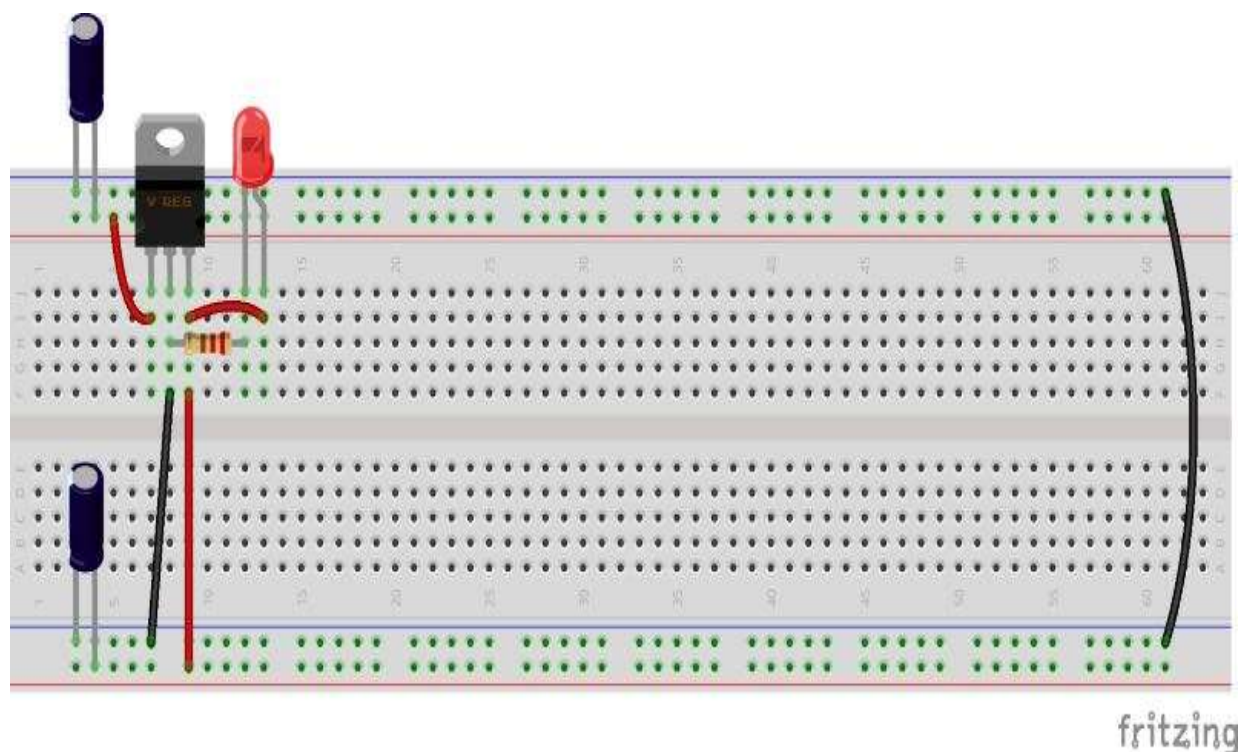
2.3.2 Definición de protoboard

Es una herramienta empleada en electrónica que posibilita hacer conexiones eléctricas sin necesidad de soldadura, lo cual es muy beneficioso para las pruebas y los prototipos de circuitos. (Electrontools, 2022).

¿Cuál es la utilidad del protoboard? Una placa de pruebas, también conocida como protoboard, permite crear prototipos y experimentos de manera rápida, sin que sea necesario soldar componentes. (Electrontools, 2022).

Figura 15

Protoboard. Placa de prueba para realizar prototipos. (Electrontools, 2022).



2.3.3 Prototipo de metano ruminal

El prototipo fue creado con el fin de cuantificar las emisiones de metano del ganado vacuno. Para ello, se empleó el sensor MQ4 que transmite al computador datos sobre la temperatura, la humedad, la fecha y la hora. Además, se ha añadido un aparato de almacenamiento que posibilita la grabación y recuperación de datos. El prototipo es autónomo y portátil, lo que permite su traslado para llevar a cabo tareas de campo. Las lecturas obtenidas del sensor se muestran en una pantalla LCD de 16 columnas y dos filas. Incluye una tarjeta inteligente de ARDUINO UNO, que actúa como interfaz entre el ordenador y la protoboard; se ha configurado para llevar a cabo las conexiones mediante cables, baterías y resistencias.

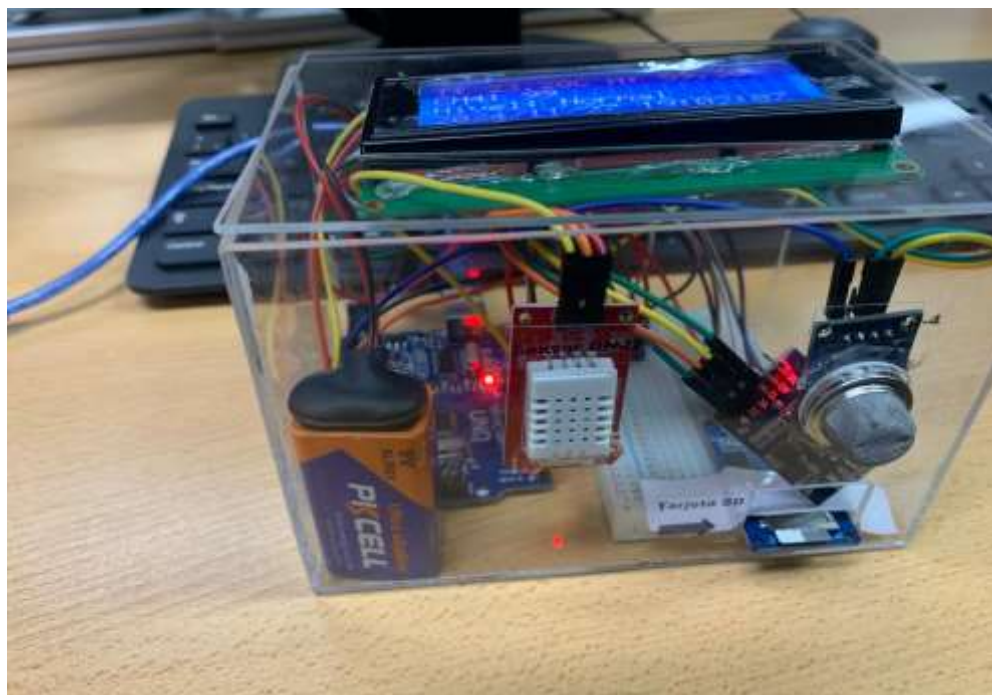
Figura 16

Prototipo de metano ruminal vista frontal



Figura 17

Prototipo de metano ruminal vista lateral



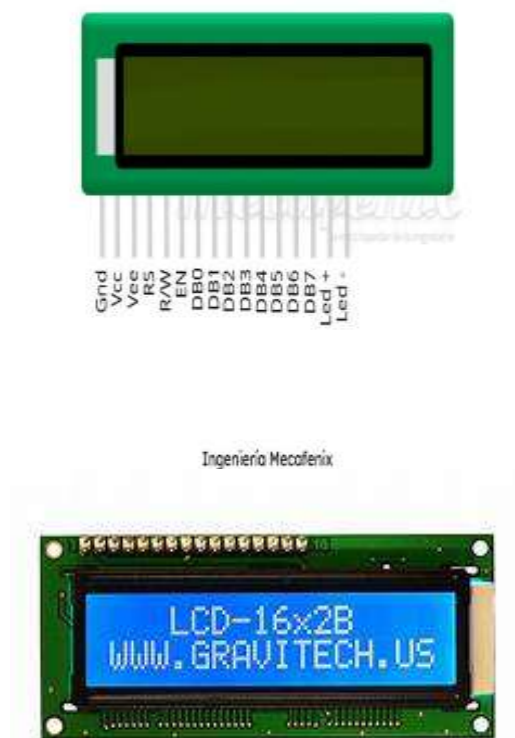
2.3.4 Pantalla LCD

El LCD (pantalla de cristal líquido) es un aparato que se utiliza para mostrar información o contenidos de manera gráfica, a través de caracteres, símbolos o ilustraciones pequeñas, según el modelo. (Mecafenix, 2022).

En este caso, utilizaremos una pantalla LCD de 16×2, lo que significa que tiene cuatro filas con 16 caracteres cada una. La cantidad de píxeles para cada carácter o símbolo cambia según el modelo. (Mecafenix, 2022)

Figura 18

Pantalla LCD 16 x 2 para visualizador información. (Mecafenix, 2022)



El LCD está compuesto por 16 terminales, las cuales se pueden clasificar en pines de alimentación, control y bus de datos que permite la comunicación en ambas direcciones. Normalmente, su estructura también contiene los pines de cátodo y ánodo de la retroiluminación LED. (Mecafenix, 2022)

2.3.5 Sensores de metano MQ-4

Estos sensores son electroquímicos y su resistencia cambia cuando entran en contacto con ciertos gases. Tienen un calentador interno que se encarga de elevar la temperatura interna, lo cual permite que el sensor reaccione con los gases y modifique el valor de la resistencia. El calentador puede requerir un voltaje que varía entre 2 y 5 voltios, según el modelo. El sensor actúa como una resistencia, por lo que requiere de una resistencia de carga (RL) para completar el circuito y crear un divisor de tensión que permita leerlo a través de un microcontrolador:

Es necesario esperar un periodo de calentamiento debido al calentador para que la salida sea estable y cumpla con las especificaciones presentadas en los datasheets del fabricante. Esta duración varía entre 12 y 48 horas, dependiendo del modelo.

En el mercado, los sensores MQ suelen estar disponibles en módulos, lo que nos facilita su utilización y simplifica la conexión. Para usarlos, solo es necesario alimentar el módulo y comenzar a leer el sensor. Estos módulos cuentan con una salida digital que trabaja internamente con un comparador; podemos calibrar el umbral de esta salida digital mediante la ayuda de un potenciómetro para poder interpretarla como presencia o ausencia del gas.

La sensibilidad a un rango específico de gases es la diferencia entre las diferentes clases de sensores MQ; son más sensibles a algunos gases que a otros, pero siempre detectan más de un gas. Por lo tanto, es importante consultar las hojas de datos para seleccionar el sensor apropiado para nuestra aplicación.

Estos sensores son apropiados para identificar metano, propano, GLP, humo, hidrógeno y alcohol. Siendo más sensible al propano y al GLP.

Figura 19

Sensor de Metano MQ-4



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica del ámbito de estudio

El estudio se desarrolló en el fundo Huacariz ubicado en el centro poblado menor de Huacariz, distrito de Cajamarca, provincia y departamento de Cajamarca, en Latitud sur entre 7°10'57" y 7° 11'01" y Longitud oeste entre meridianos 78°28'52" y 78°28'45",

Sus coordenadas UTM son por el

Vértice A Este (m) 778172 Norte (m) 9205302

Vértice B Este (m) 778785 Norte (m) 9205703

Vértice C Este (m) 778898 Norte (m) 9205534

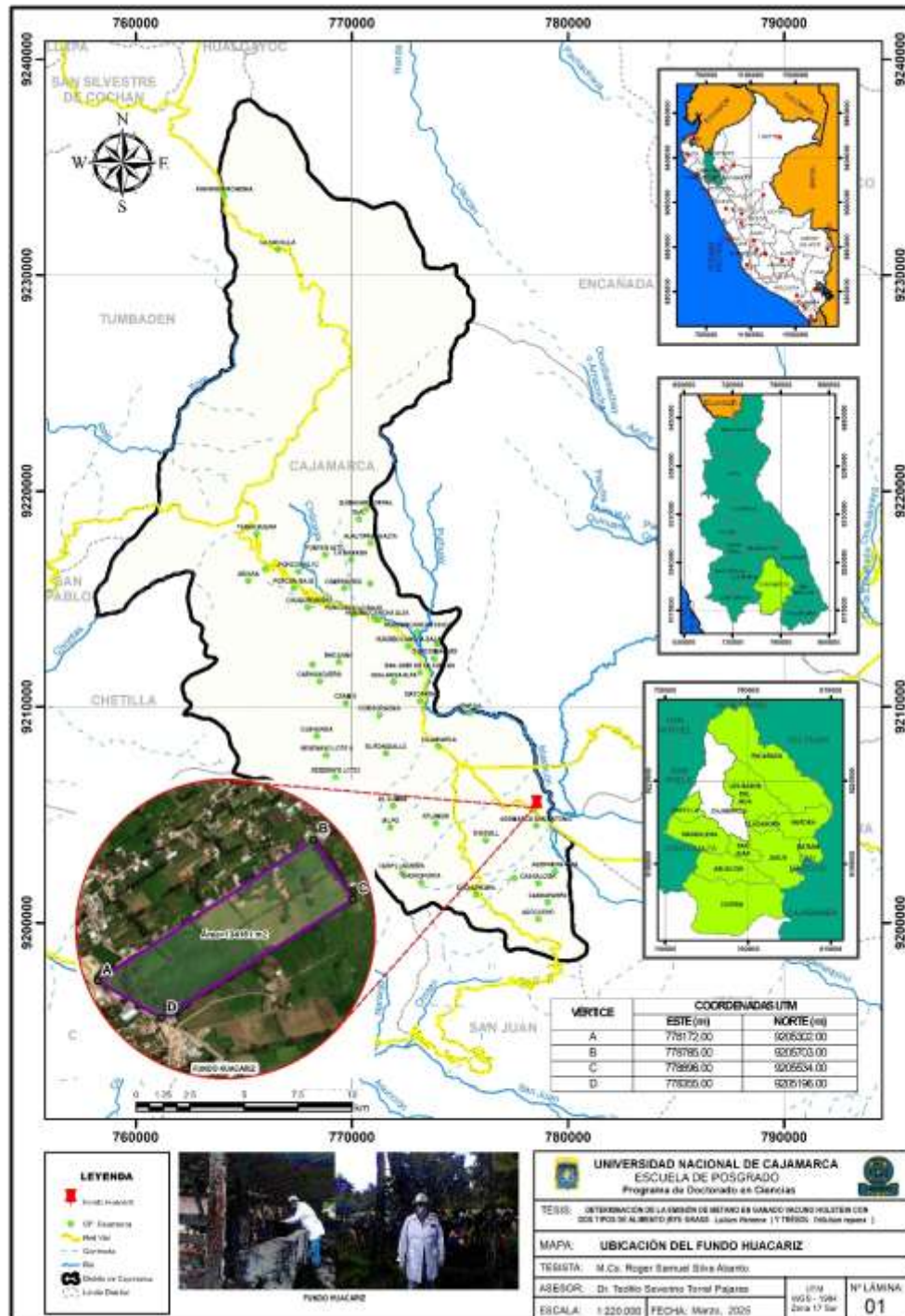
Vértice D Este (m) 778355 Norte (m) 9205196

a una altitud de 2 661 m.s.n.m, en la región quechua, la temperatura mínima media fluctúa entre 4,9°C y la máxima media entre 22,2 °C, densidad demográfica 41,7 habitantes/km²., ubicada a 4 km de la ciudad de Cajamarca. (SENAMHI, 2024)

Tiene una extensión de 134161 m² equivalente a 13.41 ha.

Figura 20

Ubicación geográfica del Centro Poblado Huacariz



3.2 Material de campo, prototipo, laboratorio y escritorio.

3.2.1 Material de Campo:

- Cuaderno de apuntes
- Lapicero
- Tablero
- Cámara fotográfica
- Cinta bobino métrica, para medir el peso de los animales
- Hoz, para el corte de forraje verde o pasto y obtener muestras
- Bolsas herméticas para recojo de muestras de forraje verde
- Rafia, para delimitar el metro cuadrado
- Metro cuadrado
- Bolsas herméticas para recojo de muestras de forraje verde
- Balanza
- Frascos de vidrio esterilizados para muestra de leche
- Cooler, para envío de muestras refrigerante
- GPS, medir coordenadas UTM

3.2.2 Material del prototipo

- Placa electrónica Arduino UNO: interface de señales analógicas y digitales
- Protoboard: para desarrollo de prototipos electrónicos
- Cables macho y hembras con jumper para Arduino
- Leds de colores rojo, amarillo, verde de 1.5 voltios
- MQ-4, Sensor de detección de metano (CH₄), butano, GLP, humo
- Pantalla Liquid Cristal Display (LCD 16X2)16 columnas x 2 filas
- Tarjeta I2C para pantalla LCD adaptador para Arduino
- Tarjeta Bluetooth para Arduino HC05

- Lenguaje de programación C++ para entorno de Arduino
- Sensor de temperatura y humedad DTH22
- Batería de 9 voltios con adaptador
- Tarjeta SD (secure digital), tarjeta de memoria para almacenar datos
- USB con entradas SD
- RTC :Reloj de tiempo real

3.2.3 Material y equipo de laboratorio:

- Materiales y equipos (Materia Seca (MS) de laboratorio) - Método aproximal de Weende
- Balanza analítica o de precisión.
- Estufa de desecación
- Estufa de secado con circulación forzada de aire, regulada a 60°C (+/- 5°C).
- Estufa de secado regulada a 105°C.
- Desecadores.
- Mufla
- 1 Pesa filtros o pesa sustancias (crisoles).
- Pinzas y espátulas.
- Molino para muestras de pastura.
- Frigider.
- Guantes.
- Mascarilla,
- Guardapolvo.

3.2.4 Materiales de escritorio:

- Laptop,
- Impresora,
- Resaltadores, lapiceros, lápices,

- Papel bond A4,
- Software Life Sim versión V 15.1 simulador para vacas en producción para procesamiento y sistematización de datos.
- Excel,
- IBM SPSS Statistic, para análisis estadístico

3.4 Metodología

3.4.1 Selección del ganado:

Pasos

Las 10 vaquillonas y las 10 vacas se reunieron, según la tabla 1.

1. Agrupamos las vacas según su edad, peso y el tipo de alimento que es Rye Grass, así como la cantidad de comida en estado intensivo en el establo durante tres días.
2. Clasificamos las vacas por su edad, peso y clase de alimento que es el Trébol, así como la cantidad de comida en modo intensivo en el establo durante tres días.
3. Clasificamos las vaquillonas según su edad, peso y tipo de alimento (Rye Grass), así como la cantidad de este que se les suministra en el establo intensivamente durante tres días.
4. Agrupamos a las vaquillonas según su edad, peso y clase de alimento, que en este caso es el trébol; además, la cantidad de alimento en régimen intensivo en el establo se evalúa durante tres días.

Tabla 1*Agrupación de vacas en producción y vaquillonas*

Vacas	Nombre Vaca	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimient	Alimento
1	Unsha	Holstein	500	10	7/03/2011	Rye Grass
2	Fiona	Holstein	510	9	24/06/2012	Rye Grass
3	Arisa	Holstein	520	9	5/09/2012	Rye Grass
4	Carnaval	Holstein	530	9	9/02/2012	Rye Grass
5	Chula	Holstein	540	10	29/03/2011	Rye Grass
Vacas	Nombre Vaca	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimient	Alimento
1	Retama	Holstein	540	7	10/07/2014	Trébol
2	Cielo	Holstein	510	6	15/12/2015	Trébol
3	Mamy	Holstein	520	6	7/03/2015	Trébol
4	Wifi	Holstein	530	6	10/07/2015	Trébol
5	Lita	Holstein	500	6	19/07/2015	Trébol
Vaquillona	Nombre Vaquillona	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimient	Alimento
1	Julia	Holstein	350	2	6/02/2019	Rye Grass
2	Italia	Holstein	360	2	8/02/2019	Rye Grass
3	Huayno	Holstein	383	3	1/03/2018	Rye Grass
4	Shulal	Holstein	400	2	28/08/2019	Rye Grass
5	Nina	Holstein	420	2	13/09/2019	Rye Grass
Vaquillona	Nombre Vaquillona	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimient	Alimento
1	Pepa	Holstein	380	2	20/07/2019	Trébol
2	Nena	Holstein	420	2	4/08/2019	Trébol
3	Paloma	Holstein	380	2	20/12/2019	Trébol
4	Nieve	Holstein	380	2	30/05/2019	Trébol
5	Suma	Holstein	420	1	24/01/2020	Trébol

Peso

- a) El peso se realizó con la cinta métrica bovina, que se usa por el lado frontal para formar un círculo.

Se eligen cinco vacas de raza Holstein en producción, con un peso medio de 520 kg. Su alimentación consiste en Rye Grass, 8 kg, y su sistema es pastoreo intensivo en el establo, con mediciones durante tres días.

- b) Se seleccionan cinco vacas de la raza Holstein en producción, con un peso promedio de 520 kg. Su alimentación consiste en trébol (8 kg), y se les realiza un pastoreo intensivo en el establo, con mediciones durante tres días.

- c) Para las vaquillonas, se escogen cinco de la raza Holstein con un peso medio de 383 kg. Su alimentación consiste en Rye Grass (8 kg), con pastoreo intensivo en el establo y mediciones durante tres días.

- d) Para las vaquillonas, se seleccionan 5 de raza Holstein con un peso promedio de 396 kg. Su alimentación consiste en trébol de 8 kg y pastoreo intensivo en el establo, con mediciones durante tres días.

Edad de los bovinos

Se determinó la edad, la fecha del primer parto y se calculó la edad en el momento del primer parto utilizando los datos del cuaderno de registro.

Edad de las vaquillonas

Se determinó la edad del niño, que era menor a 2 años, a partir de lo registrado en el cuaderno.

Número

Se llevó a cabo el corte de Rye Grass y se distribuyeron 8 kg diarios durante tres días para las vaquillonas y las vacas productivas.

Días

Se realizó una evaluación del consumo de materia fresca durante el día, que alcanzó los 8 kg, y se llevó a cabo durante tres días.

Comida para vacas en producción

La alimentación fue fresca, cortada con la hoz y se da en el establo a las vacas lecheras y vaquillonas; la medición se realiza con un sensor de metano durante tres días.

- a) Evaluación mediante la nariz (eructo)
- b) Cuantificación de gases (flatulencias)
- c) Medición de excremento fresco

Las mediciones realizadas mediante un sensor de metano

Pradera seca

Se tomó una muestra de 1 kg de las vacas en producción y vaquillonas, utilizando el método gravimétrico, la cual fue llevada a laboratorio. Luego, se midió con el software Life Sim después de ingresar los datos productivos y reproductivos de 5 vacas alimentadas con trébol y 5 vacas alimentadas con rye grass.

- a) Vacas productivas. Se introdujeron los datos reproductivos y productivos de las vacas en el software Life Sim para procesar la información. (consultar anexos 5 y 6)
- b) Los datos de productividad, incluyendo Rye Grass
- c) Los datos reproductivos, en asociación con Trébol
- d) Método Weende de muestra seca. (INIA y UNC (consultar anexos 6 y 7)
- e) Informe de metano en vacas productivas (consulte el anexo 1).

Para las vaquillonas

Este método no es factible porque el software está hecho para vacas en producción, por lo tanto, ya se puede validar con vaquillonas.

Cómo medir el metano en vaquillonas por medio de sensores. (consultar el Anexo 2).

Clasificamos según la edad, el tipo de comida y el peso.

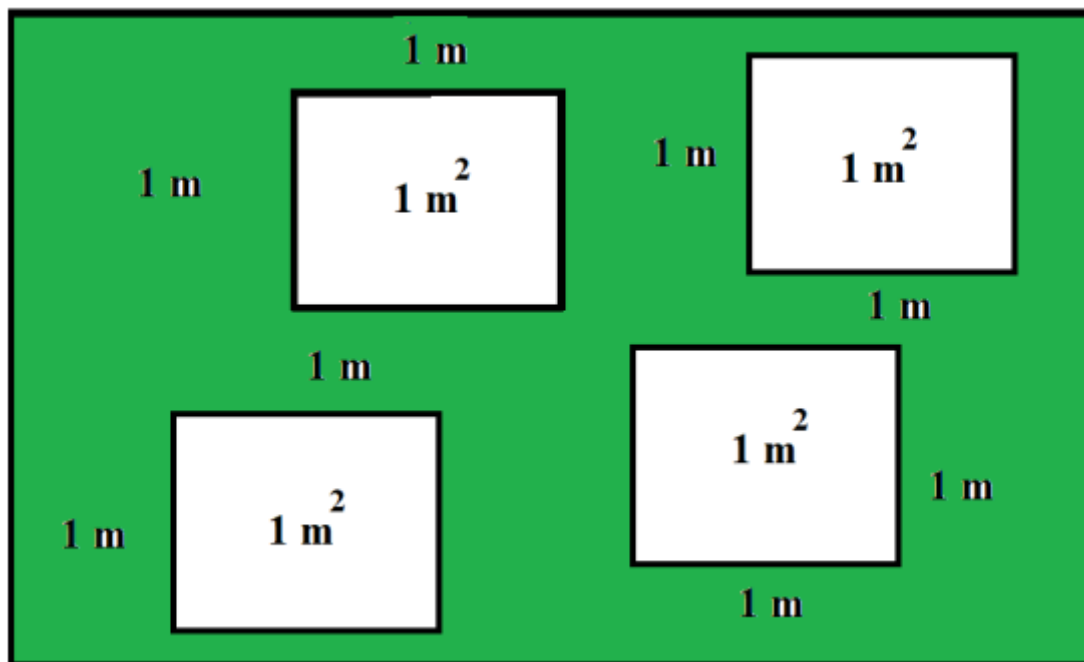
Pasto

La rotación del ganado se llevó a cabo cada 45 días. Para ello, se empleó el método gravimétrico: primero, se escogió un terreno de una hectárea y, con rafia de 1 m², se marcó previamente y luego cortó con una hoz al ras del suelo Rye Grass y Trébol. Se extrajeron cuatro muestras de pasto al azar en forma de zigzag. Las muestras tenían un peso que oscilaba entre los 500 gr y los 1000 gr. Posteriormente, las muestras etiquetadas fueron trasladadas al laboratorio de pastos y forrajes del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) (véase anexo 6). Pasto

La Estación Experimental Agraria Baños del Inca, ubicada en el distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca. Los datos se introdujeron en el software Life Sim como extracto etéreo, humedad, materia seca, fibra, proteína, cenizas y extracto libre de nitrógeno (ELN). Para su análisis correspondiente, las muestras se trasladaron a la Universidad Nacional de Cajamarca con cortes de 15, 30, 45 y 60 días. (consultar el anexo 7). Se llevó a cabo un estudio de pasturas con Trébol y Rye Grass, que posibilitó la introducción al software Life Sim de las muestras de proteína cruda, fibra cruda, materia seca, grasa y cenizas. Se requirió el análisis proximal de Weende (100% de materia seca) y el análisis proximal bramatólogo para la muestra de leche.

Figura 22

Método gravimétrico m^2 para muestra seca



Nota. Corte de Rye Grass y Trébol en un área de $1 m^2$ en el fundo Huacariz

3.4.2 Vaquillonas

Se desarrolló un prototipo para medir la emisión de metano en vaquillonas a través de sensores de metano, tomando las muestras teniendo en cuenta que el alimento era Trébol y Rye Grass fresco. (consultar el anexo 2)

En el rumen bovino, la mezcla habitual de gases está conformada por metano (CH_4) en un 27 % y dióxido de carbono (CO_2) en un 65 %. También contiene, aunque en menores cantidades, oxígeno (O_2) con un 0,6 %, ácido sulfhídrico (H_2S) con un 0,01 %, hidrógeno (H_2) con un 0,2 % y nitrógeno (N_2) con el 7 % (Contreras M., 2010).

La fermentación ruminal produce metano, que es uno de los varios gases emitidos. Entre los otros se encuentran el dióxido de carbono, el ácido sulfhídrico, el oxígeno y el hidrógeno.

Se realizaron muestras aproximando el prototipo a la vaquillona y midiendo por la nariz, donde se capta el metano, y por la cola, donde se pueden observar las mediciones.

El sensor de metano (CH₄) MQ-2, MQ-4 y MQ-135, así como el sensor de dióxido de carbono (CO₂), se incorporan en la elaboración del prototipo.

Para la elaboración, se consideran las siguientes etapas:

3.4.2.1 Característica de las unidades experimentales raza Holstein

– Vacas x Alimento

Las características de las unidades experimentales se muestran en la tabla 1 para vacas en producción de raza Holstein con Rye Grass y Trébol y para vaquillonas de raza Holstein con alimentos de Rye Grass y Trébol.

3.4.3 Sistema de medidas

El programa Life Sim comunica sus unidades en L y Kg CH₄ vaca⁻¹ año⁻¹, las cuales se han transformado a g CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹.

¿A cuánto equivale 1 ppm? La primera tarea será transformar ppm a mg/l (miligramos por litro) con el siguiente factor de conversión: 1 mg/l = 1 ppm (un miligramo por litro es igual a una parte por millón).

1. Calcular la densidad del metano: A condiciones estándar (1 atm y 25 °C), la densidad del metano es de cerca de 0.714 g/L.
2. Multiplicación de la densidad por el volumen en litros: Para pasar de litros de metano a gramos, se tiene que multiplicar el volumen en litros por 0.714 g/L.
3. La metodología del gas trazador hexafluoruro de azufre (SF₆) se representa en g CH₄ vaca⁻¹ por día⁻¹. kg de CH₄ por vaca al día La cromatografía es utilizada en el método de cámara respirométrica, y se expresa en gramos de CH₄.

3.4.4 Descripción del Sensor MQ-4

El sensor MQ-4 es un instrumento electrónico que detecta gases como el metano (CH_4), el gas natural y otros gases que son inflamables. Se utiliza con frecuencia en estudios sobre emisiones de metano ruminal en ganado vacuno, proyectos de investigación agrícola y aplicaciones para observar el medio ambiente. Es un sensor que cuesta poco, es sencillo de integrar y ofrece una salida analógica que es proporcional a la cantidad del gas detectado.

1. Características del sensor MQ-4

El sensor MQ-4 tiene un componente sensible que está constituido por una pequeña cantidad de óxido de estaño (SnO_2) y el cual modifica su resistencia a la electricidad cuando se encuentra con gases combustibles. El material pierde resistencia a medida que la concentración de metano se eleva, lo cual posibilita medir indirectamente el volumen de gas presente. La señal de salida es analógica y puede ser interpretada por microcontroladores como el Arduino UNO.

Rango de detección: metano en concentraciones que oscilan entre 200 ppm y 10.000 ppm.

2. Procedimiento para medir el metano ruminal

Fase 1: Ajuste del sensor

- Para garantizar lecturas estables, se debe llevar a cabo un periodo de calentamiento inicial de al menos 24 horas antes de utilizar el sensor. El sensor se une a una placa microcontroladora que tiene una fuente de 5V, tierra (GND) y entrada analógica (A0).

Paso 2: Instalación de un sistema para capturar metano

- Se sitúa el sensor de recolección de gases en la trompa del animal (elaborado para no causar estrés), que dirige al sensor MQ-4, situado en una cámara de análisis con ventilación controlada, el metano exhalado.

Paso 3: Inscripción de datos

- El sensor se calibra mediante el uso de concentraciones de metano ya conocidas, y se ajusta el microcontrolador para que registre lecturas a intervalos temporales específicos. Los datos tienen la posibilidad de guardarse en una tarjeta SD o transmitirse en tiempo real a través de Bluetooth o WiFi.

Paso 4: Análisis de los resultados

- Se examinan los datos registrados para determinar la concentración media de metano ruminal por animal, por día o por unidad de alimento ingerido. Esto facilita la comparación de dietas, tratamientos o condiciones fisiológicas.

3.4.5 Metodología IPCC 2006 para la Estimación de Metano Ruminal en Ganado: Tiers 1, 2 y 3

La metodología empleada por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es la base de los niveles de datos. La calidad de los datos está directamente relacionada con el nivel: el Nivel 1 es de baja calidad y el Nivel 3, de alta. (IPCC, 2006)

Existen tres niveles:

Nivel 1: Información modelada de forma extensa, con escasas o ningún dato de actividad local accesible (estos métodos emplearán datos a nivel estatal, nacional o internacional y los escalarán al municipio usando una métrica pertinente).

Tier 1: Método predeterminado que se basa en factores de emisión promedio

Tier 1 emplea elementos de emisión estándar que proporciona el IPCC para distintas clases de ganado y zonas climáticas. Se trata de una estimación simple que no necesita datos locales concretos.

Fórmula general:

$$EM = N \times FE$$

Donde:

EM = Emisiones de CH₄ (kg/año)

N = Número de animales

FE = Factor de emisión por animal (kg CH₄/animal/año)

Ejemplo: El factor de emisión para un bovino lechero en América Latina es de aproximadamente 56 kg CH₄/año. (IPC, 2006)

Tier 2: Cálculo basado en consumo energético del animal

Tier 2 requiere información más detallada sobre la dieta, el peso, la producción y el entorno del animal. Permite calcular las emisiones de metano a partir de las necesidades energéticas del ganado.

Fórmula:

$$EM = GE \times Y_m \times 365 \times 0.05565$$

Donde:

EM = Emisiones de CH₄ (kg/año)

GE = Energía bruta consumida (MJ/día)

Y_m = Porcentaje de GE convertido en CH₄ (entre 4% y 10%)

0.05565 = Factor de conversión de MJ a kg CH₄

Se requiere estimar la Ingesta de Materia Seca (IMS) y la Energía Neta de Mantenimiento (ENm) del animal. (IPCC, 2006)

Los niveles de datos se fundamentan en el sistema empleado por el Grupo

Intergubernamental de Expertos sobre el Nivel 3: Datos de actividad local y elementos que emiten gases contaminantes a nivel local, o datos específicos reales sobre la emisión de carbono a nivel local según la actividad.

Nivel 3: Modelos específicos avanzados y medición directa

Tier 3 se fundamenta en modelos nacionales o mediciones directas que reflejan con mayor exactitud las condiciones locales, los métodos de ganadería y las propiedades fisiológicas del ganado. Incluye lo siguiente:

- Sistemas de vigilancia en tiempo real mediante sensores
- Modelos de simulación bioenergética
- Medición directa de emisiones a través de técnicas láser o cámaras para respiración

Esta metodología requiere que se valide científicamente, que haya acceso a tecnología y personal con especialización. (IPCC, 2006)

3.4.6 Funcionamiento del Software LifeSim para la Estimación de Metano Ruminal en Vacunos Alimentados con Rye Grass y Trébol

LifeSim es un modelo de simulación creado por INRA (Francia) con el propósito de estudiar las emisiones de gases que tienen efecto invernadero, específicamente el metano (CH_4) producido en la fermentación entérica, así como el rendimiento productivo de los rumiantes. Este software es capaz de modelar el ciclo vital de un animal en su totalidad, incluyendo variables vinculadas con la genética, la alimentación, el entorno y la fisiología. (Sauvant y colaboradores, 2015).

1. Principio de operación

LifeSim incorpora submodelos de metabolismo, crecimiento, consumo y producción que determinan la generación de metano y el flujo energético en función de las propiedades del animal y su alimentación. La producción de metano se ve afectada por la composición nutricional de los forrajes cuando se trata de vacas alimentadas con trébol (*Trifolium repens*) y rye grass (*Lolium perenne*).

Procedimiento exhaustivo paso a paso

Paso 1: Determinación del perfil del animal

Se introducen datos sobre el bovino: raza, peso al principio, edad, ritmo de crecimiento y etapa productiva (mantenimiento, lactancia o crecimiento).

Paso 2: Descripción de la dieta

Se describen los alimentos, que son trébol y rye grass, indicando su tasa de pasaje ruminal, digestibilidad, fibra neutro detergente (NDF), proteína y energía bruta (GE).

Estos datos establecen el flujo de energía y la parte fermentada en el rumen.

.Paso 3: Cálculo de la energía bruta y del Ym

Life Sim calcula la energía bruta consumida (GE) en megajulios al día. Después, utiliza el coeficiente Ym (que corresponde al porcentaje de GE que se convierte en metano), el cual varía entre el 6.0% y el 6.5% para pasturas frescas como el trébol y el rye grass.

Paso 4: Estimación de metano ruminal

Con base en la fórmula IPCC Tier 2:

$$EM = GE \times Ym \times 365 \times 0.05565$$

Life Sim calcula la cantidad anual de metano emitido por el animal. Este resultado puede compararse entre dietas o estrategias de manejo.

Paso 5: Análisis de escenarios

Se simulan diferentes escenarios (variación en proporciones de rye grass y trébol, suplementación, edad de pastura) para analizar su impacto en producción y emisiones de CH₄.

Aplicaciones en Ganadería Sostenible

- Evaluar prácticas alimentarias con menor huella de carbono.
- Optimizar la producción animal manteniendo bajos niveles de emisiones.
- Diseñar políticas de mitigación para sistemas pastoriles en regiones andinas y templadas. (FAO, 2016)

Con base en la información recolectada y descrita precedentemente, se procedió a correr el Software Life Sim (Dairy v 15.1), cuyos resultados obtenidos de la emisión de CH₄ en kg vaca⁻¹año⁻¹

Para estimar la emisión de metano en las condiciones actuales de manejo del con el Software Life Sim (Dairy v 15.1), en la pestaña Animal description, se ingresó la información obtenida en la caracterización del rebaño bovino considerando los parámetros productivos y reproductivos de cada animal, seguidamente, se introduce datos mensuales de las características climáticas (temperatura, humedad y velocidad del viento), correspondiente al año 2021, en la pestaña Weather conditions, luego en la pestaña Pasture description, se ingresa las características de la pastura: disponibilidad de materia seca por mes (kgMSha-1), porcentaje de digestibilidad, porcentaje de proteína, se considera un dato anual, contenido de materia seca (%) y carga animal, en la pestaña Supplement data, se ingresa información del concentrado para las combinaciones de tratamiento . Cabe señalar que para las combinaciones de tratamiento solo pastura no se introdujo ninguna información desactivando el check de esta pestaña, ya que el software nos permite desactivarlo cuando no se utiliza concentrado; finalmente en la pestaña economic data ingresamos los costos de los insumos, y para estimar la emisión de metano pulsamos en la pestaña Simulation, así mismo en la pestaña text reports obtenemos los valores de metano emitido por vaca por año. (León et al., 2006).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Emisión del gas metano en vacas en producción alimentados con Rye Grass mediante los métodos Life Sim y Sensor de Metano.

Tabla 2

Emisión de Metano en vacas en producción alimentados con Rye Grass mediante programa Live Sim

No	Nombre Vaca	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimiento	Alimento	Live Sim		Promedio Rye Grass - Vaca	Live Sim
							L CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	Kg CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	g CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	g CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹
1	Unsha	Holstein	500	10	7/03/2011	Rye Grass	166.52	119.23	118895.28	325.74
2	Fiona	Holstein	510	9	24/06/2012	Rye Grass	171.13	122.53	122186.82	334.76
3	Arisa	Holstein	520	9	5/09/2012	Rye Grass	175.96	125.99	125635.44	344.21
4	Carnaval	Holstein	530	9	9/02/2012	Rye Grass	179.04	128.23	127834.56	350.23
5	Chula	Holstein	540	10	29/03/2011	Rye Grass	182.58	130.73	130362.12	357.16
		Promedio	520	9.4			175.05	125.34	124982.84	342.42

Tabla 3

Emisión de Metano en vacas en producción alimentados con Rye Grass mediante Sensor de Metano

No	Nombre Vaca	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimiento	Alimento	Sensor de Metano			Promedio Rye Grass - Vaca	
							Nariz	Flatulencia	Heces		
							ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	g CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹
1	Unsha	Holstein	500	10	7/03/2011	Rye Grass	254.00	255.00	253.00	254.00	254.00
2	Fiona	Holstein	510	9	24/06/2012	Rye Grass	255.00	255.00	253.00	254.33	254.11
3	Arisa	Holstein	520	9	5/09/2012	Rye Grass	256.00	255.00	254.00	255.00	254.67
4	Carnaval	Holstein	530	9	9/02/2013	Rye Grass	255.00	255.00	253.00	254.33	254.11
5	Chula	Holstein	540	10	29/03/2011	Rye Grass	255.00	256.00	253.00	254.67	254.56
		Promedio	520	9.4			255.00	255.20	253.20	254.47	254.29

Mediante el programa Life Sim, se calculó la emisión de metano en las vacas productivas de la raza Holstein alimentadas con Rye Grass ecotipo cajamaquino. El promedio general

fue de 342.42 g CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹, según lo mostrado en la tabla 2. Se estableció la emisión de metano en las vacas productivas de raza Holstein alimentadas con Rye Grass, utilizando el sensor de metano MQ4. Este generó una media de 254.29 g CH₄ por vaca⁻¹ día⁻¹.

El modelo Live Sim muestra una emisión considerable de metano en las vacas que se alimentan con Rye Grass. Se nota que las vacas con más peso producen más metano, lo que indica una posible correlación entre el tamaño del cuerpo y la cantidad de este gas emitido. El Sensor de Metano, a diferencia de Live Sim, presenta en todas las mediciones valores homogéneos. Esto puede ser el resultado de la exactitud del sensor o de una sensibilidad insuficiente para identificar las variaciones individuales en la producción de metano.

A partir de la metodología IPCC Nivel 1, en 2012 la liberación de metano para el ganado bovino lechero a causa de la fermentación entérica fue de 74.57 kg CH₄/cabeza/año, lo que equivale a 94 g CH₄ cabeza/día (MINAM 2016:151). Los hallazgos con los que contamos, 125.34 kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹, son superiores. Se registraron 227 y 248 L de metano por cabeza al día en Argentina (lo que equivale a 289 y 315 g de CH₄ por vaca al día), lo cual es similar a los resultados de 283.20 g de CH₄ por vaca al día. Un peso vivo medio de 382 kg durante seis horas en un pastizal compuesto por gramíneas y leguminosas. Se empleó la técnica SF₆. (Bualo et al. 2014). Para calcular la producción de metano entérico en ganado lechero que pasta en Chile. Asimismo, emplearon el método de SF₆ en una pradera de Rye Grass. El total de metano producido se incrementa de 452 a 500 L CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹. Los resultados conseguidos de 283.20 CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹ son más bajos que los datos de 575 a 630 g vaca⁻¹ día⁻¹ (Muñoz et al., 2015). En investigaciones efectuadas en el Centro Experimental La Raya, ubicado en Cuzco (Lipa, 2017), se determinó que la raza Holstein producía más metano (299.3 g/día); los hallazgos de 283.20 g/día de CH₄ son equivalentes.

Verificación de hipótesis

La alimentación en vacas con el simulador Life Sim Rye Grass 150.20a. Sensor de metano Rye Grass 254.47a.

*a,b,c y d letras distintas señalan una diferencia significativa ($p < 0.05$)

Tabla 3.1

Análisis de Vacas con Life Sim entre Rye Grass vs Trébol

Alimento	Rye Grass	Trébol
	150.20 ^a	148.28 ^a

No hay pruebas suficientes para descartar la hipótesis nula, así que no se observan diferencias significativas ($p > 0,05$) entre el metano generado por las vacas alimentadas con trébol y las que son alimentadas con rye grass.

4.2 Emisión del gas metano en vacas en producción alimentados con Trébol mediante los métodos Life Sim y Sensor de Metano.

Tabla 4

Emisión de Metano en vacas en producción alimentados con Trébol mediante programa Live Sim

No	Nombre Vaca	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimiento	Alimento	Live Sim		Promedio Trébol - Vaca	Live Sim
							L CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	Kg CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	Kg CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	g CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹
1	Retama	Holstein	540	7	10/07/2014	Trébol	185.48	132.80	132432.72	362.83
2	Cielo	Holstein	510	6	15/12/2015	Trébol	171.51	122.80	122458.14	335.50
3	Manny	Holstein	520	6	7/03/2015	Trébol	174.62	125.03	124678.68	341.59
4	Wifi	Holstein	530	6	10/07/2015	Trébol	165.71	118.65	118316.94	324.16
5	Lita	Holstein	500	6	19/07/2015	Trébol	166.77	119.41	119073.78	326.23
		Promedio	520	6.2			172.82	123.74	123392.05	338.06

Tabla 5

Emisión de Metano en vacas en producción alimentados con Trébol mediante Sensor de Metano

No	Nombre Vaca	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimiento	Alimento	Sensor de Metano			Promedio Trébol - Vaca	
							Nariz	Flatulencia	Heces		
							ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	g CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹
1	Retama	Holstein	540	7	10/07/2014	Trébol	156.00	155.00	154.00	155.00	154.67
2	Cielo	Holstein	510	6	15/12/2015	Trébol	154.00	157.00	152.00	154.33	154.44
3	Mamy	Holstein	520	6	7/03/2015	Trébol	154.00	157.00	157.00	156.00	156.67
4	Wifi	Holstein	530	6	10/07/2015	Trébol	154.00	156.00	154.00	154.67	154.89
5	Lita	Holstein	500	6	19/07/2015	Trébol	156.00	157.00	156.00	156.33	156.44
		Promedio	520	6.2			154.80	156.40	154.60	155.27	155.42

En la tabla 4, se estableció que las vacas de raza Holstein alimentadas con trébol emiten metano. Para ello, se empleó el programa Life Sim, el cual arrojó una emisión promedio general de 338.06 g CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹. La tabla 5 muestra que la emisión de metano en vacas lecheras de raza Holstein alimentadas con trébol, utilizando el sensor MQ4, fue de 155.42 g CH₄ por vaca⁻¹ día⁻¹.

Las vacas que consumen trébol generan una cantidad de metano parecida a las alimentadas con rye grass (123.74 kg al año contra 125.34 kg al año), pero es un poco menor. El sensor de metano muestra que las vacas alimentadas con trébol producen menos metano (155,42 ppm) que aquellas alimentadas con rye grass (255,00 ppm). La homogeneidad de los valores indica que este procedimiento puede no detectar variaciones individuales con la misma exactitud que Live Sim.

El efecto de los forrajes de leguminosas en la reducción de las emisiones de metano (Vlaming et al., 2008) se evidencia en que las vacas alimentadas con dietas de gramínea + leguminosa eliminaron 170 g CH₄/d, mientras que las alimentadas con dietas de leguminosa eliminaron 124 g CH₄/d. Las investigaciones de digestión in vitro han revelado

que los prados de trébol blanco emiten menos metano entérico (CH₄) que los prados de gramíneas perennes, lo cual se debe a las variaciones en su constitución química y en la dinámica de la fermentación del rumen (Purcell et al. 2012). Se establecieron las emisiones de metano entérico en vacas en estado seco y en lactancia que recibían alimentación a partir de pastoreo rotativo con Trébol/Rye Grass. Para establecer la emisión de metano entérico, se aplicó la metodología del gas trazador hexafluoruro de azufre (SF₆). El metano entérico que emitieron cinco vacas en lactancia (VL) fue de 358.5 ± 8.0 g CH₄ por vaca⁻¹ día⁻¹. Salas Riega C. Y (2022) reporta que la cantidad de metano que emite cada vaca al día es 281 kg.

Verificación de hipótesis

Las diferencias en el peso corporal o la eficiencia digestiva de cada vaca podrían ser la causa de la variabilidad entre estas.

El efecto de los forrajes de leguminosas en la reducción de las emisiones de metano (Vlaming et al., 2008) se evidencia en que las vacas alimentadas con dietas de gramínea + leguminosa eliminaron 170 g CH₄/d, mientras que las alimentadas con dietas de leguminosa eliminaron 124 g CH₄/d. Las investigaciones de digestión in vitro han revelado que los prados de trébol blanco emiten menos metano entérico (CH₄) que los prados de gramíneas perennes, lo cual se debe a las variaciones en su constitución química y en la dinámica de la fermentación del rumen (Purcell et al. 2012). Se establecieron las emisiones de metano entérico en vacas en estado seco y en lactancia que recibían alimentación a partir de pastoreo rotativo con Trébol/Rye Grass. Para establecer la emisión de metano entérico, se aplicó la metodología del gas trazador hexafluoruro de azufre (SF₆). El metano entérico que emitieron cinco vacas en lactancia (VL) fue de 358.5 ± 8.0 g CH₄ por vaca⁻¹ día⁻¹. Salas Riega C. Y (2022) reporta que la cantidad de metano que emite cada vaca al día es 281 kg. Se registró una emisión más alta de 283,20 g CH₄ y (vacas a 350-580 g CH₄) en comparación con otros métodos como el hexafluoruro de azufre (SF₆), donde se obtuvo

una emisión de 227-248 g CH₄. Los resultados fueron menores cuando se utilizó la cámara respirométrica o la cromatografía (novillas: 226 g CH₄).

Análisis Estadístico del factor Alimento

Tabla – 3.2

Análisis de Vacas con Sensor entre Rye Grass VS Trébol

	Rye Grass	Trébol
Alimento	254.47 ^a	155.27 ^b

*a,b,c y d letras diferentes indican diferencia significativa (p<0.05)

Se han encontrado pruebas suficientes para descartar la hipótesis nula; por lo tanto, se observan diferencias significativas (p>0,05) entre el metano generado por las vacas que son alimentadas con trébol y las que lo son con rye grass.

4.3 Emisión del gas metano en vaquillonas alimentados con Rye Grass mediante los métodos Life Sim y Sensor de Metano.

Tabla 6

Emisión de Metano en vaquillonas alimentados con Rye Grass mediante Live Sim

No	Nombre Vaquillona	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimiento	Alimento	Live Sim		Promedio Rye Grass Vaquillona	Live Sim
							L CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	Kg CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	Kg CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	g CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹
1	Julia	Holstein	350	2	6/02/2019	Rye Grass	113.58	81.32	81096.12	222.18
2	Italia	Holstein	360	2	8/02/2019	Rye Grass	114.06	81.66	81438.84	223.12
3	Huayno	Holstein	383	3	1/03/2018	Rye Grass	114.31	81.84	81617.34	223.61
4	Shulal	Holstein	400	2	28/08/2019	Rye Grass	114.42	81.93	81695.88	223.82
5	Nina	Holstein	420	2	13/09/2019	Rye Grass	114.08	81.68	81453.12	223.16
		Promedio	383	2.2			114.09	81.69	81460.26	223.80

Tabla 7

Emisión de Metano en vaquillonas alimentados con Rye Grass mediante Sensor de

Metano

No	Nombre Vaquillona	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimiento	Alimento	Sensor de Metano			Promedio Rye Grass - Vaquillona	
							Nariz	Flatulencia	Heces		
							ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	g CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹
1	Julia	Holstein	350	2	6/02/2019	Rye Grass	162.00	197.00	191.00	183.33	183.33
2	Italia	Holstein	360	2	8/02/2019	Rye Grass	158.00	186.00	187.00	177.00	177.00
3	Huayno	Holstein	383	3	1/03/2018	Rye Grass	158.00	203.00	186.00	182.33	182.33
4	Shulal	Holstein	400	2	28/08/2019	Rye Grass	162.00	195.00	190.00	182.33	182.33
5	Nina	Holstein	420	2	13/09/2019	Rye Grass	158.00	193.00	188.00	179.67	179.67
		Promedio	383	2.2			159.60	194.80	188.40	180.93	180.93

La tabla 6 muestra la emisión de metano de las vaquillonas Holstein que eran alimentadas con Rye Grass. El programa Life Sim calculó una media general de 223.80 g CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹. El sensor de metano MQ4 se utilizó para determinar la emisión de metano en vaquillonas Holstein alimentadas con Rye Grass, según se observa en la tabla 7. El resultado fue una producción promedio de 180.93 g CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹.

Las vaquillonas producen menos metano que las vacas adultas que se alimentan con Rye Grass (81.86 kg año en comparación con 125.34 kg año para las vacas). La diferencia probablemente se deba a que pesan menos y consumen menos forraje que las vacas adultas. Según el Sensor de Metano, la cantidad de metano que producen las vaquillonas es más baja que la que producen las vacas adultas (180.93 ppm en vaquillonas frente a 255.00 ppm en estas últimas). Su tamaño más pequeño y su menor consumo de alimento son congruentes con la producción reducida de metano.

Los valores de CH₄ en animales en crecimiento fueron de entre 237,20 y 580,84 g kg PV⁻¹. Los animales que estaban en una fase de crecimiento temprana presentaron los valores más bajos y las novillas gestantes, los más altos. Los resultados alcanzados, de 184.57 g de

CH₄ por vaca⁻¹ día⁻¹, son inferiores (Messa Arboleda HF, 2009). (Lipa Ancoco V, 2017) informó que las vacas en lactancia producían en promedio 353.8 g de CH₄ diarios; los resultados obtenidos (184.57 g de CH₄ por vaca⁻¹ día⁻¹) son inferiores a esta cifra. En el caso de las novillas, la producción era de 222.6 g/día, también menos que los resultados obtenidos. Estos resultados coinciden con los de (Pedreira MDS et al, 2009), quien también evidenció que la emisión de metano variaba según la intensidad del manejo y la categoría fisiológica del animal. Por otro lado, la cámara respirométrica ha sido utilizada en Argentina y en estudios in vitro en América Latina (Negussie E et al, 2017; Cavanagh A et al, 2008).

Comprobación de hipótesis

Presentación de Resultados

Tabla 3.3

Análisis de Vaquillonas entre Rye Grass VS Trébol con Life Sim

	Rye Grass	Trébol
Alimento	97.89 ^a	98.18 ^a

*a,b,c y d letras diferentes indican diferencia significativa (p<0.05)

No hay pruebas suficientes para descartar la hipótesis nula, así que no se encuentran diferencias significativas (p>0,05) entre el metano generado por las vaquillonas alimentadas con trébol y las que son alimentadas con rye grass.

4.4 Emisión del gas metano en vaquillonas alimentados con Trébol mediante los métodos Life Sim y Sensor de Metano.

Tabla 8*Emisión de Metano en vaquillonas alimentados con Trébol mediante Live Sim*

No	Nombre Vaquillona	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimiento	Alimento	Live Sim		Promedio Trébol Vaquillona	Live Sim
							L CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	Kg CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	Kg CH ₄ vaca ⁻¹ año ⁻¹	g CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹
1	Pepa	Holstein	380	2	20/07/2019	Trébol	114.99	82.34	82102.86	224.94
2	Nena	Holstein	420	2	4/08/2019	Trébol	114.46	81.95	81724.44	223.90
3	Paloma	Holstein	380	2	20/12/2019	Trébol	114.11	81.70	81474.54	223.22
4	Nieve	Holstein	380	2	30/05/2019	Trébol	113.85	81.51	81288.90	222.71
5	Suma	Holstein	420	1	24/01/2020	Trébol	114.74	82.15	81924.36	224.45
		Promedio	396	1.8			114.43	81.93	81703.02	223.84

Tabla 9*Emisión de Metano en vaquillonas alimentados con Trébol mediante Sensor de Metano*

No	Nombre Vaquillona	Raza	Peso (kg)	Edad (años)	Fecha Nacimiento	Alimento	Sensor de Metano			Promedio Trébol - Vaquillona	
							Nariz	Flatulencia	Heces		
							ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	ppm CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹	g CH ₄ vaca ⁻¹ día ⁻¹
1	Pepa	Holstein	380	2	20/07/2019	Trébol	160.00	160.00	173.00	164.33	164.33
2	Nena	Holstein	420	2	4/08/2019	Trébol	160.00	166.00	169.00	165.00	165.00
3	Paloma	Holstein	380	2	20/12/2019	Trébol	159.00	169.00	173.00	167.00	167.00
4	Nieve	Holstein	380	2	30/05/2019	Trébol	160.00	160.00	171.00	163.67	163.67
5	Suma	Holstein	420	1	24/01/2020	Trébol	158.00	169.00	170.00	165.67	165.67
		Promedio	396	1.8			159.40	164.80	171.20	165.13	165.13

Según la tabla 8, se estableció que las vaquillonas de raza Holstein alimentadas con trébol emiten metano. El programa Life Sim generó un promedio general de 223.84 g CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹. Se estableció la emisión de metano en vaquillonas de la raza Holstein que se alimentan con Trébol mediante el sensor de metano MQ4, lo cual generó un promedio de 165.13 g CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹.

Las vaquillonas que consumen trébol producen metano en un volumen comparable al de las que se alimentan con rye grass (81.93 kg/año en el caso del trébol frente a 81.86 kg/año

en el del rye grass). Es previsible que las vaquillonas emitan menos metano que las vacas adultas, dado su menor peso y su consumo alimenticio reducido. De acuerdo con el Sensor de Metano, las vaquillonas que se alimentan con trébol emiten menos metano que las que lo hacen con rye grass (165.47 ppm en trébol frente a 180.93 ppm en rye grass). Como el trébol tiene más digestibilidad y menos cantidad de fibra que el rye grass, la menor emisión de metano podría estar vinculada con la composición del forraje.

Un estudio realizado en Costa Rica (Montenegro-Ballester, J., Barrantes-Guevara, E., & Ivankovich-Cruz, S, 2020) reportó que las novillas estabuladas emiten a diario 147 g CH₄ y los animales que pastorean 141 g CH₄. Esto sugiere que no existe una diferencia significativa entre estos dos sistemas. Por otro lado, se observó en la República Dominicana (Martínez Cambier E.E, 2020) que el agregar concentrados a la alimentación de las novillas en pastoreo aumentó la producción de metano de 112,96 g CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹ a 128,30 g CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹. Diversos métodos han sido utilizados para cuantificar las emisiones de metano entérico en bovinos. La técnica del gas trazador SF₆ ha sido ampliamente utilizada en estudios en Perú, Costa Rica, Argentina y Chile (Lipa Ancco V, 2017); (Montenegro-Ballester, J., Barrantes-Guevara, E., & Ivankovich-Cruz, S, 2020); (Bualo et al., 2014); (Muñoz et al., 2015). Esta técnica permite obtener mediciones precisas en condiciones de pastoreo, lo que la hace adecuada para estudios en sistemas extensivos.

Tabla 3.4

Análisis de Vaquillonas entre Rye Grass VS Trébol con Sensor de Metano

	Rye Grass	Trébol
Alimento	180.93 ^a	165.13 ^b

*a,b,c y d letras diferentes indican diferencia significativa (p<0.05)

Hay pruebas suficientes para descartar la hipótesis nula; por lo tanto, hay diferencias significativas entre el metano generado por las vaquillonas alimentadas con trébol y el producido por las que se alimentan con rye grass ($p>0.05$).

Tabla 3.5

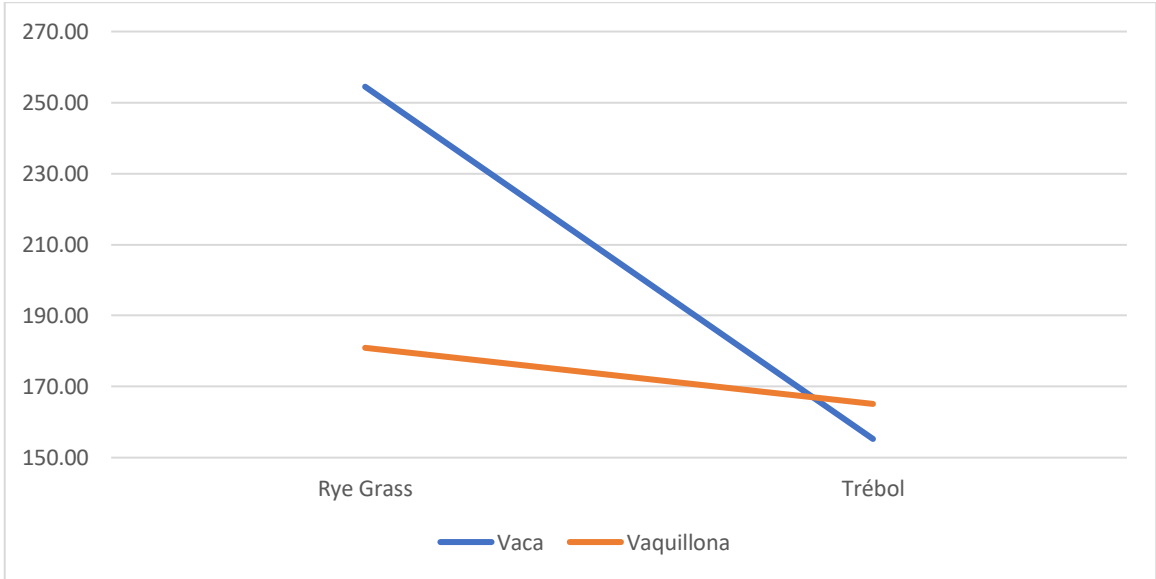
Análisis de Efectos del Sensor entre vacas y vaquillonas alimentados con Rye Grass y Trébol

Combinaciones	Rye Grass- Vaca	Rye Grass- Vaquillona	Trébol- Vaca	Trébol - Vaquillona
	254.47 ^a	180.93 ^b	155.27 ^d	165.13 ^c
Alimento	Rye Grass		Trébol	
	217.70 ^a		160.20 ^b	
Categoría	VACA		VAQUILLONA	
	204.87 ^a		173.03 ^b	

*a,b,c y d letras diferentes indican diferencia significativa ($p<0.05$)

Figura 23

Análisis de Efecto del factor Alimento y Categoría con el sensor de metano



Hay pruebas suficientes para descartar la hipótesis nula, lo que significa que hay diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el metano generado por animales alimentados con trébol y aquellos alimentados con rye grass. Se cuenta con pruebas suficientes para no aceptar la hipótesis nula. Por lo tanto, se dan diferencias relevantes ($p < 0.05$) entre el metano generado por las vacas y el metano generado por las vaquillas/vaquillonas. Hay evidencias suficientes para descartar la hipótesis nula; por lo tanto, se encuentran diferencias importantes ($p < 0.05$) entre el metano generado a partir de las combinaciones de los niveles de los factores. Hay suficientes pruebas para desestimar la hipótesis nula; por lo tanto, los factores interactúan entre sí.

Tabla 3.6

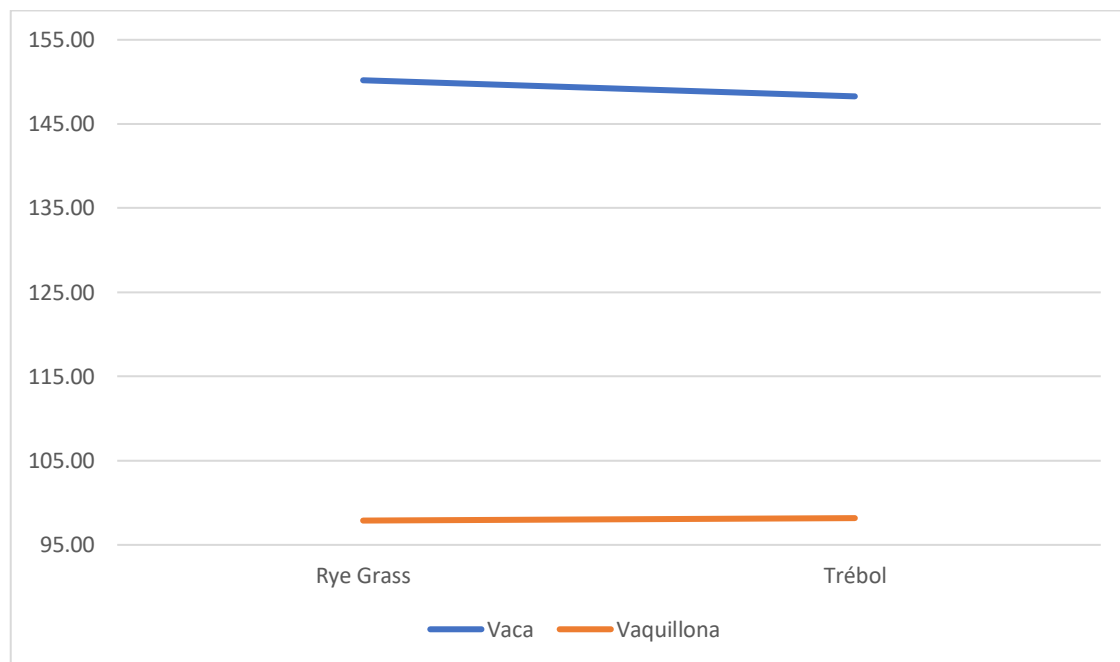
Análisis de Efectos del factor Categoría y Alimentos con el Life Sim

Combinaciones	Rye Grass-Vaca	Rye Grass-Vaquillona	Trébol-Vaca	Trébol - Vaquillona
	150.19 ^a	97.89 ^b	148.28 ^a	98.18 ^b
Alimento	Rye Grass		Trébol	
	124.04 ^a		123.23 ^a	
Categoría	VACA		VAQUILLONA	
	149.24 ^a		98.03 ^b	

*a,b,c y d letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

Figura 24

Análisis de efecto del factor Categoría y Alimentos con el Life Sim



No se tienen pruebas suficientes para rechazar la hipótesis nula; por lo tanto, no hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el metano generado por los animales alimentados con trébol y el producido por los alimentados con rye grass. Se cuenta con pruebas suficientes para no aceptar la hipótesis nula. Por lo tanto, se dan diferencias relevantes ($p < 0,05$) entre el metano generado por las vacas y el metano generado por las vaquillas/vaquillonas. Hay evidencias suficientes para descartar la hipótesis nula; por lo tanto, se encuentran diferencias importantes ($p < 0,05$) entre el metano generado a partir de las combinaciones de los niveles de los factores. No hay pruebas suficientes para descartar la hipótesis nula; por lo tanto, no se da interacción entre los factores.

No se tienen pruebas suficientes para rechazar la hipótesis nula; por lo tanto, no hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el metano generado por los animales alimentados con trébol y el producido por los alimentados con rye grass. Se cuenta con pruebas

suficientes para no aceptar la hipótesis nula. Por lo tanto, se dan diferencias relevantes ($p < 0,05$) entre el metano generado por las vacas y el metano generado por las vaquillas/vaquillonas. Hay evidencias suficientes para descartar la hipótesis nula; por lo tanto, se encuentran diferencias importantes ($p < 0,05$) entre el metano generado a partir de las combinaciones de los niveles de los factores. No hay pruebas suficientes para descartar la hipótesis nula; por lo tanto, no se da interacción entre los factores.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 5.1 Se estableció la liberación de metano en vacas Holstein productivas que se alimentaban con Rye Grass del ecotipo cajamarquino. Se calculó una emisión media de $342.42 \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ empleando el programa Life Sim. En cambio, utilizando el sensor de metano MQ4, la emisión promedio fue $254.29 \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$. El modelo Life Sim muestra que las vacas alimentadas con Rye Grass emiten una cantidad considerable de metano, y se ha notado que aquellas de mayor peso tienden a emitir más.
- 5.2 El sensor MQ4 registró un promedio de $155.42 \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$, mientras que el programa Life Sim estimó para vacas Holstein en producción alimentadas con trébol una emisión media de $338.06 \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$.
- 5.3 Para las vaquillonas Holstein que se alimentan de Rye Grass, el programa Life Sim calculó una emisión media de $223.80 \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Un promedio de $180.93 \text{ vacas}^{-1} \text{ día}^{-1}$ fue registrado por el sensor MQ4.
- 5.4 Según el modelo Life Sim, las vaquillonas Holstein que consumieron trébol emitieron una cantidad media de $223.84 \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$; en cambio, el sensor MQ4 calculó una emisión promedio de $165.13 \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

RECOMENDACIONES

1. Variedad en la alimentación: Para examinar su efecto en la producción de metano entérico y el rendimiento lechero, se aconseja combinar la dieta basada en trébol y Rye Grass con otras variedades de forrajes o suplementos. Esta perspectiva hará posible la detección de componentes que bloqueen la actividad metanogénica en el rumen de los animales rumiantes.
2. Utilización científica del metano: Una cuantificación exacta del metano ruminal podría dar paso a nuevas líneas de investigación enfocadas en su aplicación para producir biogás o biocombustibles, promoviendo opciones sustentables para la matriz energética.
3. Promoción de la utilización del metano en términos energéticos: Es preciso fomentar estudios aplicados que reconozcan el metano ruminal como un recurso de energía bio-renovable, con especial atención en su utilización para alimentar motores de corriente alterna (CA) y de corriente continua (DC), además de proveer energéticamente a los establos ganaderos.
4. Administración de emisiones: Se aconseja implementar y conservar al día un inventario de emisiones de metano ruminal a escala provincial, regional y nacional. Esta herramienta será fundamental para la elaboración de políticas públicas, la aplicación de estrategias de mitigación y el cumplimiento de acuerdos internacionales en relación al cambio climático.

CAPITULO VII

ANEXOS

ANEXOS 1

REPORTE FINAL METANO LIFE SIMVACAS

SCENARIO NUMBER: 1

Running from month: January

Description: Vaca - 1_UNSHA - Rye Grass

Simulation time: 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	10	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	500.00	kg
Expected weight at next calving	583.00	kg
Expected calf weight at birth	45.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	635.49	kg
Average daily weight change (365 days)	0.371	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.370	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	41.26	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by: lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (334 days)	1988	kg
Difference from milk potential	220	kg

Lactation length	334	days
Milk production average per day	5.95	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in: US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total
production cost)

	50.00	%
--	-------	---

Total income (milk sale)	696.10	\$
--------------------------	--------	----

Total, costs	369.35	\$
--------------	--------	----

Gross margin	326.75	\$
--------------	--------	----

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.88
--------------------------------	------

Income / Total Cost	1.88
---------------------	------

Sale price of milk	0.35	\$/kg
--------------------	------	-------

Production cost per kg of milk	0.19	\$/kg
--------------------------------	------	-------

Gain or loss per kg of milk	0.16	\$/kg
-----------------------------	------	-------

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	166.52	l
--	---------------	----------

Total methane emission (kilograms)	119.23	kg
---	---------------	-----------

Methane emission per lactation (liters)	150.30	l
---	--------	---

Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0766	kg
--	--------	----

Manure excretion	1566.476	kg DM
------------------	----------	-------

Nitrogen proportion in the excreta	3.17	%
------------------------------------	------	---

Total nitrogen excreted	49.59	kg
-------------------------	-------	----

Daily nitrogen excreted	0.14	kg
-------------------------	------	----

SCENARIO NUMBER: 2

Running from month: January

Description: Vaca - 2_FIONA - Rye Grass

Simulation time:	365	(days)
------------------	-----	--------

ANIMAL DESCRIPTION

Age	9	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	510.00	kg
Expected weight at next calving	603.00	kg
Expected calf weight at birth	40.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	648.90	kg
Average daily weight change (365 days)	0.381	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.000	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	36.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by: lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (365 days)	2086	kg
Difference from milk potential	122	kg
Lactation length	365	days
Milk production average per day	5.72	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in: US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total

production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	730.15	\$
Total costs	370.38	\$
Gross margin	359.77	\$

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.97	
Income / Total Cost	1.97	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.18	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.17	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	171.13	1
Total methane emission (kilograms)	122.53	kg
Methane emission per lactation (liters)	171.13	1
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0820	kg
Manure excretion	1602.387	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.16	%
Total nitrogen excreted	50.66	kg
Daily nitrogen excreted	0.14	kg

SCENARIO NUMBER: 3

Running from month: January

Description: Vaca - 3_ARISA - Rye Grass

Simulation time: 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	9	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	520.00	kg
Expected weight at next calving	620.00	kg
Expected calf weight at birth	40.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	666.26	kg
Average daily weight change (365 days)	0.401	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.000	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	36.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by: lactation at Mature age 2703		kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (365 days)	2107	kg
Difference from milk potential	101	kg
Lactation length	365	days
Milk production average per day	5.77	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total production cost)

	50.00	%
Total income (milk sale)	737.70	\$
Total costs	371.50	\$
Gross margin	366.20	\$
Economic Ratios		
Gross Margin / Total Cost (BC)	0.99	
Income / Total Cost	1.99	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.18	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.17	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	175.96	1
--	---------------	----------

Total methane emission (kilograms)	125.99	kg
Methane emission per lactation (liters)	175.96	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0835	kg
Manure excretion	1641.255	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.16	%
Total nitrogen excreted	51.81	kg
Daily nitrogen excreted	0.14	kg

SCENARIO NUMBER: 4

Running from month: January

Description: Vaca - 4_CARNAVAL - Rye Grass

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	9	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	530.00	kg
Expected weight at next calving	630.00	kg
Expected calf weight at birth	38.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	674.32	kg
Average daily weight change (365 days)	0.395	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.857	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	34.84	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (274 days)	1848	kg
Difference from milk potential	360	kg
Lactation length	274	days
Milk production average per day	6.74	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total production cost)

	50.00	%
Total income (milk sale)	647.01	\$
Total costs	372.33	\$
Gross margin	274.67	\$

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.74	
Income / Total Cost	1.74	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.20	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.15	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	179.09	l
Total methane emission (kilograms)	128.23	kg
Methane emission per lactation (liters)	134.82	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0727	kg
Manure excretion	1669.837	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.15	%
Total nitrogen excreted	52.67	kg
Daily nitrogen excreted	0.14	kg

SCENARIO NUMBER: 5

Running from month: January

Description: Vaca - 5_CHULA - Rye Grass

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	10	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	540.00	kg
Expected weight at next calving	647.00	kg
Expected calf weight at birth	40.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	693.59	kg
Average daily weight change (365 days)	0.421	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.403	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	36.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (334 days)	2059	kg
Difference from milk potential	149	kg
Lactation length	334	days
Milk production average per day	6.16	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	720.86	\$
Total costs	373.21	\$
Gross margin	347.66	\$
Economic Ratios		
Gross Margin / Total Cost (BC)	0.93	
Income / Total Cost	1.93	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.18	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.17	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	182.58	l
Total methane emission (kilograms)	130.73	kg
Methane emission per lactation (liters)	164.47	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0811	kg
Manure excretion	1701.024	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.15	%
Total nitrogen excreted	53.57	kg
Daily nitrogen excreted	0.15	kg

SCENARIO NUMBER: 6

Running from month: January

Description: Vaca - 1_RETAMA - TREBOL

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	8	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	540.00	kg
Expected weight at next calving	654.00	kg
Expected calf weight at birth	45.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	706.57	kg
Average daily weight change (365 days)	0.456	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.000	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	41.26	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days		

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (365 days)	2146	kg
Difference from milk potential	62	kg
Lactation length	365	days
Milk production average per day	5.88	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total

production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	751.24	\$
Total costs	373.73	\$
Gross margin	377.51	\$
Economic Ratios		
Gross Margin / Total Cost (BC)	1.01	
Income / Total Cost	2.01	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.17	\$/kg

Gain or loss per kg of milk	0.18	\$/kg
-----------------------------	------	-------

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	185.48	l
Total methane emission (kilograms)	132.80	kg
Methane emission per lactation (liters)	185.48	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0864	kg
Manure excretion	1719.178	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.15	%
Total nitrogen excreted	54.11	kg
Daily nitrogen excreted	0.15	kg

SCENARIO NUMBER: 7

Running from month: January

Description: Vaca - 2_CIELO - TREBOL

Simulation time :	365	(days)
-------------------	-----	--------

ANIMAL DESCRIPTION

Age	6	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	510.00	kg
Expected weight at next calving	604.00	kg
Expected calf weight at birth	45.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	655.59	kg
Average daily weight change (365 days)	0.399	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.000	kg/day
Calving per year	0.87	

Calf birth weight	41.26	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (365 days)	2085	kg
Difference from milk potential	123	kg
Lactation length	365	days
Milk production average per day	5.71	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total

production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	729.94	\$
Total costs	370.49	\$
Gross margin	359.45	\$

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.97	
Income / Total Cost	1.97	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.18	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.17	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	171.51	l
Total methane emission (kilograms)	122.80	kg
Methane emission per lactation (liters)	171.51	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0822	kg
Manure excretion	1606.065	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.16	%

Total nitrogen excreted	50.77	kg
Daily nitrogen excreted	0.14	kg
<hr/>		
<hr/>		
SCENARIO NUMBER: 8		
Running from month: January		
Description: Vaca - 3_MAMY - TREBOL		
Simulation time :	365	(days)
<hr/>		
ANIMAL DESCRIPTION		
Age	6	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days
WEIGHT AT SIMULATION TIME		
Initial weight (At initial of the lactation)	520.00	kg
Expected weight at next calving	614.00	kg
Expected calf weight at birth	40.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%
<hr/>		
Weight at end of the year (365 days)	660.58	kg
Average daily weight change (365 days)	0.385	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.661	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	36.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days
<hr/>		
(*) Not less than 365 days		
MILK		
Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1938	kg
Difference from milk potential	270	kg

Lactation length	304	days
Milk production average per day	6.38	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total
production cost)

50.00 %

Total income (milk sale)

678.35 \$

Total costs

371.29 \$

Gross margin

307.06 \$

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)

0.83

Income / Total Cost

1.83

Sale price of milk

0.35 \$/kg

Production cost per kg of milk

0.19 \$/kg

Gain or loss per kg of milk

0.16 \$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)

174.62 1

Total methane emission (kilograms)

125.03 kg

Methane emission per lactation (liters)

143.44 1

Methane emission per kg of Milk (liters)

0.0750 kg

Manure excretion

1633.558 kg DM

Nitrogen proportion in the excreta

3.16 %

Total nitrogen excreted

51.60 kg

Daily nitrogen excreted

0.14 kg

SCENARIO NUMBER: 9

Running from month: January

Description: Vaca - 4_WIFI - TREBOL

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	6	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	500.00	kg
Expected weight at next calving	584.00	kg
Expected calf weight at birth	40.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	630.63	kg
Average daily weight change (365 days)	0.358	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.000	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	36.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (365 days)	2062	kg
Difference from milk potential	146	kg
Lactation length	365	days
Milk production average per day	5.65	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total

production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	721.81	\$
Total costs	369.18	\$
Gross margin	352.63	\$

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.96	
Income / Total Cost	1.96	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.18	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.17	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	165.71	l
Total methane emission (kilograms)	118.65	kg
Methane emission per lactation (liters)	165.71	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0804	kg
Manure excretion	1560.479	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.17	%
Total nitrogen excreted	49.41	kg
Daily nitrogen excreted	0.14	kg

SCENARIO NUMBER: 10

Running from month: January

Description: Vaca - 5_LITA - TREBOL

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	6	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	500.00	kg
Expected weight at next calving	586.00	kg
Expected calf weight at birth	40.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	632.60	kg
Average daily weight change (365 days)	0.363	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.000	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	36.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (365 days)	2065	kg
Difference from milk potential	143	kg
Lactation length	365	days
Milk production average per day	5.66	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total

production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	722.98	\$
Total costs	369.36	\$
Gross margin	353.63	\$

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.96	
Income / Total Cost	1.96	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.18	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.17	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	166.77	1
--	---------------	----------

Total methane emission (kilograms)	119.41	kg
Methane emission per lactation (liters)	166.77	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0807	kg
Manure excretion	1566.398	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.17	%
Total nitrogen excreted	49.60	kg
Daily nitrogen excreted	0.14	kg

SCENARIO NUMBER: 2

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Rye Grass-JULIA

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	397.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%
<hr/>		
Weight at end of the year (365 days)	429.13	kg
Average daily weight change (365 days)	0.135	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.363	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1495	kg
Difference from milk potential	713	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.92	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total
production cost)

	50.00	%
Total income (milk sale)	523.41	\$
Total costs	356.56	\$
Gross margin	166.85	\$
Economic Ratios		
Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	113.58	l
Total methane emission (kilograms)	81.32	kg
Methane emission per lactation (liters)	94.78	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0633	kg
Manure excretion	1120.555	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.34	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 3

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Rye Grass-ITALIA

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	397.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	429.49	kg
Average daily weight change (365 days)	0.136	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.364	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1499	kg
Difference from milk potential	709	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.93	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total

production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	524.72	\$
Total costs	356.64	\$
Gross margin	168.08	\$
Economic Ratios		
Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	114.06	l
Total methane emission (kilograms)	81.66	kg
Methane emission per lactation (liters)	95.22	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0634	kg
Manure excretion	1123.562	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.42	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 4

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Rye Grass-HUAYNO

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	398.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	430.28	kg
Average daily weight change (365 days)	0.138	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.366	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days		

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1499	kg
Difference from milk potential	709	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.93	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total
production cost)

	50.00	%
Total income (milk sale)	524.96	\$
Total costs	356.69	\$
Gross margin	168.26	\$

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	114.31	l
Total methane emission (kilograms)	81.84	kg
Methane emission per lactation (liters)	95.40	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0635	kg
Manure excretion	1125.182	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.48	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 5

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Rye Grass-SHULAL

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	398.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	430.39	kg
Average daily weight change (365 days)	0.138	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.372	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg

Time for pregnancy initiation after calving	138	days
---	-----	------

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1500	kg
Difference from milk potential	708	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.93	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total
production cost)

	50.00	%
--	-------	---

Total income (milk sale)	525.06	\$
--------------------------	--------	----

Total costs	356.70	\$
-------------	--------	----

Gross margin	168.36	\$
--------------	--------	----

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47
--------------------------------	------

Income / Total Cost	1.47
---------------------	------

Sale price of milk	0.35	\$/kg
--------------------	------	-------

Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
--------------------------------	------	-------

Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg
-----------------------------	------	-------

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	114.42	l
---------------------------------	--------	---

Total methane emission (kilograms)	81.93	kg
------------------------------------	-------	----

Methane emission per lactation (liters)	95.22	l
---	-------	---

Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0635	kg
--	--------	----

Manure excretion	1125.667	kg DM
------------------	----------	-------

Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
------------------------------------	------	---

Total nitrogen excreted	36.48	kg
-------------------------	-------	----

Daily nitrogen excreted	0.10	kg
-------------------------	------	----

SCENARIO NUMBER: 6

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Rye Grass-NINA

Simulation time :	365	(days)
-------------------	-----	--------

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	397.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	429.81	kg
Average daily weight change (365 days)	0.136	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.367	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1499	kg
Difference from milk potential	709	kg
Lactation length	304	days

Milk production average per day	4.93	kg/day
---------------------------------	------	--------

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total
production cost)

50.00	%
-------	---

Total income (milk sale)

524.87	\$
--------	----

Total costs

356.64	\$
--------	----

Gross margin

168.23	\$
--------	----

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)

0.47

Income / Total Cost

1.47

Sale price of milk

0.35	\$/kg
------	-------

Production cost per kg of milk

0.24	\$/kg
------	-------

Gain or loss per kg of milk

0.11	\$/kg
------	-------

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)

114.08	l
--------	---

Total methane emission (kilograms)

81.68	kg
-------	----

Methane emission per lactation (liters)

95.18	l
-------	---

Methane emission per kg of Milk (liters)

0.0634	kg
--------	----

Manure excretion

1123.432	kg DM
----------	-------

Nitrogen proportion in the excreta

3.24	%
------	---

Total nitrogen excreted

36.42	kg
-------	----

Daily nitrogen excreted

0.10	kg
------	----

SCENARIO NUMBER: 1

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Rye Grass

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	396.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	428.73	kg
Average daily weight change (365 days)	0.134	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.366	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1494	kg
Difference from milk potential	714	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.91	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	523.02	\$
Total costs	356.60	\$
Gross margin	166.42	\$
Economic Ratios		

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	113.90	l
Total methane emission (kilograms)	81.55	kg
Methane emission per lactation (liters)	95.05	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0635	kg
Manure excretion	1122.430	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.37	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 2

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Rye Grass-JULIA

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	397.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	429.13	kg
Average daily weight change (365 days)	0.135	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.363	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1495	kg
Difference from milk potential	713	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.92	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total

production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	523.41	\$
Total costs	356.56	\$
Gross margin	166.85	\$

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	113.58	l
Total methane emission (kilograms)	81.32	kg

Methane emission per lactation (liters)	94.78	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0633	kg
Manure excretion	1120.555	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.34	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 3

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Rye Grass-ITALIA

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	397.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	429.49	kg
Average daily weight change (365 days)	0.136	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.364	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1499	kg
Difference from milk potential	709	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.93	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total
production cost)

	50.00	%
Total income (milk sale)	524.72	\$
Total costs	356.64	\$
Gross margin	168.08	\$

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	114.06	l
Total methane emission (kilograms)	81.66	kg
Methane emission per lactation (liters)	95.22	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0634	kg
Manure excretion	1123.562	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.42	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 4

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Rye Grass-HUAYNO

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	398.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	430.28	kg
Average daily weight change (365 days)	0.138	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.366	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1499	kg
Difference from milk potential	709	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.93	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total

production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	524.96	\$
Total costs	356.69	\$
Gross margin	168.26	\$
Economic Ratios		
Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	114.31	l
Total methane emission (kilograms)	81.84	kg
Methane emission per lactation (liters)	95.40	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0635	kg
Manure excretion	1125.182	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.48	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 5

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Rye Grass-SHULAL

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	398.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	430.39	kg
Average daily weight change (365 days)	0.138	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.372	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days		

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1500	kg
Difference from milk potential	708	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.93	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total
production cost)

	50.00	%
Total income (milk sale)	525.06	\$
Total costs	356.70	\$
Gross margin	168.36	\$

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	114.42	l
Total methane emission (kilograms)	81.93	kg
Methane emission per lactation (liters)	95.22	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0635	kg
Manure excretion	1125.667	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.48	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 6

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Rye Grass-NINA

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	397.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	429.81	kg
Average daily weight change (365 days)	0.136	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.367	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg

Time for pregnancy initiation after calving	138	days
---	-----	------

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1499	kg
Difference from milk potential	709	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.93	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total
production cost)

	50.00	%
--	-------	---

Total income (milk sale)	524.87	\$
--------------------------	--------	----

Total costs	356.64	\$
-------------	--------	----

Gross margin	168.23	\$
--------------	--------	----

Economic Ratios

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47
--------------------------------	------

Income / Total Cost	1.47
---------------------	------

Sale price of milk	0.35	\$/kg
--------------------	------	-------

Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
--------------------------------	------	-------

Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg
-----------------------------	------	-------

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	114.08	l
---------------------------------	--------	---

Total methane emission (kilograms)	81.68	kg
------------------------------------	-------	----

Methane emission per lactation (liters)	95.18	l
---	-------	---

Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0634	kg
--	--------	----

Manure excretion	1123.432	kg DM
------------------	----------	-------

Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
------------------------------------	------	---

Total nitrogen excreted	36.42	kg
-------------------------	-------	----

Daily nitrogen excreted	0.10	kg
<hr/>		

SCENARIO NUMBER: 7		
Running from month: January		
Description: Life SimVaquillonas - Trébol-PEPA		
Simulation time :	365	(days)

ANIMAL DESCRIPTION		
Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days
WEIGHT AT SIMULATION TIME		
Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	398.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	430.64	kg
Average daily weight change (365 days)	0.139	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.368	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days		
MILK		
Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1507	kg
Difference from milk potential	701	kg
Lactation length	304	days

Milk production average per day	4.96	kg/day
PRODUCTION COST (at 365 days)		
The costs are expressed in : US Dollar		
Percentage of feeding cost (% of total production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	527.71	\$
Total costs	356.81	\$
Gross margin	170.90	\$
Economic Ratios		
Gross Margin / Total Cost (BC)	0.48	
Income / Total Cost	1.48	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	114.99	l
Total methane emission (kilograms)	82.34	kg
Methane emission per lactation (liters)	96.02	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0635	kg
Manure excretion	1129.395	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.60	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 8

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Trébol-NENA

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	397.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	429.69	kg
Average daily weight change (365 days)	0.136	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.368	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1498	kg
Difference from milk potential	710	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.93	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	524.51	\$
Total costs	356.71	\$
Gross margin	167.81	\$
Economic Ratios		

Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	114.46	l
Total methane emission (kilograms)	81.95	kg
Methane emission per lactation (liters)	95.48	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0636	kg
Manure excretion	1125.917	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.49	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 9

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Trébol-PALOMA

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	396.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	428.99	kg
Average daily weight change (365 days)	0.134	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.360	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1501	kg
Difference from milk potential	707	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.94	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total

production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	525.42	\$
Total costs	356.64	\$
Gross margin	168.77	\$
Economic Ratios		
Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	114.11	l
Total methane emission (kilograms)	81.70	kg

Methane emission per lactation (liters)	95.39	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0633	kg
Manure excretion	1123.633	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.41	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 10

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Trébol-NIEVE

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	396.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	429.07	kg
Average daily weight change (365 days)	0.134	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.362	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1499	kg
Difference from milk potential	709	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.93	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total
production cost)

	50.00	%
Total income (milk sale)	524.93	\$
Total costs	356.60	\$
Gross margin	168.33	\$
Economic Ratios		
Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	113.85	l
Total methane emission (kilograms)	81.51	kg
Methane emission per lactation (liters)	95.13	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0632	kg
Manure excretion	1122.106	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.38	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

SCENARIO NUMBER: 11

Running from month: January

Description: Life SimVaquillonas - Trébol-SUMA

Simulation time : 365 (days)

ANIMAL DESCRIPTION

Age	2	
Lactation number	1	
Calving interval (*)	420	days

WEIGHT AT SIMULATION TIME

Initial weight (At initial of the lactation)	380.00	kg
Expected weight at next calving	398.00	kg
Expected calf weight at birth	28.00	kg
Loss weight after calving (3 first month)	8.00	%

Weight at end of the year (365 days)	430.96	kg
Average daily weight change (365 days)	0.140	kg/day
Average daily weight change after end of lactation	0.374	kg/day
Calving per year	0.87	
Calf birth weight	25.67	kg
Time for pregnancy initiation after calving	138	days

(*) Not less than 365 days

MILK

Potential milk production by:lactation at Mature age	2703	kg/lac
Lactation corrected	2208	kg/lac
Milk production per lactation length (304 days)	1502	kg
Difference from milk potential	706	kg
Lactation length	304	days
Milk production average per day	4.94	kg/day

PRODUCTION COST (at 365 days)

The costs are expressed in : US Dollar

Percentage of feeding cost (% of total

production cost)	50.00	%
Total income (milk sale)	525.74	\$
Total costs	356.76	\$
Gross margin	168.98	\$
Economic Ratios		
Gross Margin / Total Cost (BC)	0.47	
Income / Total Cost	1.47	
Sale price of milk	0.35	\$/kg
Production cost per kg of milk	0.24	\$/kg
Gain or loss per kg of milk	0.11	\$/kg

METHANE, MANURE AND NITROGEN PRODUCTION (at 365 days)

Total methane emission (liters)	114.74	l
Total methane emission (kilograms)	82.15	kg
Methane emission per lactation (liters)	95.52	l
Methane emission per kg of Milk (liters)	0.0636	kg
Manure excretion	1127.293	kg DM
Nitrogen proportion in the excreta	3.24	%
Total nitrogen excreted	36.55	kg
Daily nitrogen excreted	0.10	kg

ANEXO 2

MEDICIÓN DE METANO CON SENSORES

FECHA: 14/10/2022

MEDICIÓN DE METANO CON SENSORES

SENSOR MQ_2	PPM
14:44:47.225 -> 267	267
14:44:47.536 -> 266	266
14:44:47.827 -> 266	266
14:44:48.116 -> 266	266
14:44:48.403 -> 267	267
14:44:48.730 -> 266	266
14:44:49.033 -> 266	266
14:44:49.317 -> 267	267
14:44:49.614 -> 266	266
14:44:49.909 -> 266	266
14:44:50.219 -> 266	266
14:44:50.516 -> 266	266
14:44:50.807 -> 267	267
14:44:51.100 -> 267	267
14:44:51.408 -> 266	266
14:44:51.716 -> 267	267
	266.375

SENSOR MQ-4	PPM
14:45:51.777 -> 267	267
14:45:52.106 -> 267	267
14:45:52.405 -> 267	267
14:45:52.692 -> 266	266
14:45:52.992 -> 267	267
14:45:53.280 -> 266	266
14:45:53.580 -> 266	266
14:45:53.911 -> 265	265
14:45:54.205 -> 266	266
14:45:54.500 -> 266	266
14:45:54.797 -> 265	265
14:45:55.095 -> 266	266
14:45:55.395 -> 266	266
14:45:55.690 -> 267	267
14:45:56.014 -> 265	265
	266.1333333

SENSOR MQ-5		PPM
14:53:03.303 -> 476 ppm	Se encontro gas metano	476
14:53:13.369 -> 287 ppm	Se encontro gas metano	287
14:53:23.431 -> 284 ppm	Se encontro gas metano	284
14:53:33.509 -> 284 ppm	Se encontro gas metano	284
14:53:43.566 -> 283 ppm	Se encontro gas metano	283
14:53:53.647 -> 283 ppm	Se encontro gas metano	283
14:54:03.718 -> 283 ppm	Se encontro gas metano	283
14:54:13.799 -> 283 ppm	Se encontro gas metano	283
14:54:23.846 -> 283 ppm	Se encontro gas metano	283
14:54:33.917 -> 282 ppm	Se encontro gas metano	282
14:54:43.995 -> 283 ppm	Se encontro gas metano	283
14:54:54.035 -> 283 ppm	Se encontro gas metano	283
14:55:04.104 -> 282 ppm	Se encontro gas metano	282
14:55:14.198 -> 283 ppm	Se encontro gas metano	283
14:55:24.277 -> 282 ppm	Se encontro gas metano	282
14:55:34.332 -> 283 ppm	Se encontro gas metano	283
14:55:44.376 -> 283 ppm	Se encontro gas metano	283
14:55:54.475 -> 283 ppm	Se encontro gas metano	283
		293.888889

SENSOR MQ-9

		PPM
15:01:44.869 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:01:45.525 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:01:46.168 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:01:46.856 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:01:47.540 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:01:48.207 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:01:48.853 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:01:49.529 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:01:50.199 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:01:50.890 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:01:51.566 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:01:52.205 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:01:52.872 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:01:53.547 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:01:54.229 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:01:54.905 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:01:55.573 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:01:56.245 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:01:56.914 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:01:57.550 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:01:58.256 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254

15:01:58.927 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	253
15:01:59.597 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:02:00.234 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:02:00.912 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:02:01.600 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:02:02.268 -> 253 ppm	Se encontro gas metano	253
15:02:02.936 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:02:03.575 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
		253.517241

SENSOR MQ-135

		PPM
15:04:29.606 -> 254 ppm	Se encontro gas metano	254
15:04:30.284 -> 255 ppm	Se encontro gas metano	255
15:04:30.928 -> 256 ppm	Se encontro gas metano	256
15:04:31.615 -> 255 ppm	Se encontro gas metano	255
15:04:32.304 -> 255 ppm	Se encontro gas metano	255
15:04:32.940 -> 255 ppm	Se encontro gas metano	255
15:04:33.609 -> 255 ppm	Se encontro gas metano	255
15:04:34.315 -> 255 ppm	Se encontro gas metano	255
15:04:34.986 -> 255 ppm	Se encontro gas metano	255
15:04:35.621 -> 255 ppm	Se encontro gas metano	255
15:04:36.288 -> 256 ppm	Se encontro gas metano	256

15:04:36.967 -> 255 ppm	Se encontro gas metano	255
15:04:37.638 -> 255 ppm	Se encontro gas metano	255
15:04:38.305 -> 256 ppm	Se encontro gas metano	256
15:04:38.980 -> 255 ppm	Se encontro gas metano	255
		255.133333

SENSOR MQ5 EN VACAS	PPM
----------------------------	------------

15:28:41.369 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:28:42.010 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:28:42.718 -> 155 ppm	Aire limpio	155
15:28:43.392 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:28:44.068 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:28:44.705 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:28:45.381 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:28:46.063 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:28:46.732 -> 155 ppm	Aire limpio	155
15:28:47.418 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:28:48.092 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:28:48.784 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:28:49.456 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:28:50.135 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:28:50.779 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:28:51.477 -> 154 ppm	Aire limpio	154

15:28:52.153 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:28:52.801 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:28:53.487 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:28:54.173 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:28:54.858 -> 153 ppm	Aire limpio	153
15:28:55.537 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:28:56.181 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:28:56.875 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:28:57.556 -> 152 ppm	Aire limpio	152
15:28:58.237 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:28:58.885 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:28:59.563 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:29:00.229 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:29:00.908 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:29:01.581 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:29:02.260 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:29:02.943 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:29:03.594 -> 155 ppm	Aire limpio	155
15:29:04.281 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:29:04.947 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:29:05.654 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:29:06.336 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:29:06.990 -> 154 ppm	Aire limpio	154

15:29:07.668 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:29:08.354 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:29:09.031 -> 155 ppm	Aire limpio	155
15:29:09.694 -> 155 ppm	Aire limpio	155
15:29:10.364 -> 153 ppm	Aire limpio	153
15:29:11.046 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:29:11.699 -> 155 ppm	Aire limpio	155
15:29:12.383 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:29:13.061 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:29:13.732 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:29:14.429 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:15.071 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:15.768 -> 155 ppm	Aire limpio	155
15:29:16.443 -> 156 ppm	Aire limpio	156
15:29:17.119 -> 155 ppm	Aire limpio	155
15:29:17.765 -> 154 ppm	Aire limpio	154
15:29:18.439 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:29:19.135 -> 155 ppm	Aire limpio	155
15:29:19.783 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:20.460 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:21.146 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:29:21.830 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:22.503 -> 156 ppm	Aire limpio	156

15:29:23.192 -> 157 ppm	Aire limpio	157
MEDICION POR LA NARIZ		PPM
15:29:23.833 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:24.519 -> 159 ppm	Aire limpio	159
15:29:25.188 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:25.866 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:26.543 -> 162 ppm	Aire limpio	162
15:29:27.237 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:27.878 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:28.558 -> 157 ppm	Aire limpio	157
15:29:29.238 -> 160 ppm	Aire limpio	160
15:29:29.912 -> 159 ppm	Aire limpio	159
15:29:30.598 -> 160 ppm	Aire limpio	160
15:29:31.268 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:31.954 -> 159 ppm	Aire limpio	159
15:29:32.630 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:33.279 -> 158 ppm	Aire limpio	158
15:29:33.969 -> 160 ppm	Aire limpio	160
15:29:34.646 -> 161 ppm	Aire limpio	161
15:29:35.318 -> 161 ppm	Aire limpio	161
15:29:36.006 -> 160 ppm	Aire limpio	160
15:29:36.646 -> 161 ppm	Aire limpio	161
15:29:37.339 -> 159 ppm	Aire limpio	159

15:29:38.017 -> 160 ppm	Aire limpio	160
15:29:38.715 -> 173 ppm		173
15:29:39.350 -> 167 ppm		167
15:29:40.024 -> 158 ppm		158
15:29:40.705 -> 163 ppm		163
15:29:41.373 -> 158 ppm		158
15:29:42.058 -> 162 ppm		162
15:29:42.751 -> 161 ppm		161
15:29:43.432 -> 161 ppm		161
MEDICIÓN POR LA PARTE POSTERIOR		PPM
15:30:15.686 -> 162 ppm		162
15:30:16.375 -> 161 ppm		161
15:30:17.059 -> 163 ppm		163
15:30:17.736 -> 166 ppm		166
15:30:18.424 -> 169 ppm		169
15:30:19.087 -> 170 ppm		170
15:30:19.743 -> 169 ppm		169
15:30:20.426 -> 169 ppm		169
15:30:21.110 -> 173 ppm		173
15:30:21.784 -> 171 ppm		171
15:30:22.432 -> 173 ppm		173
15:30:23.122 -> 177 ppm		177
15:30:23.815 -> 175 ppm		175

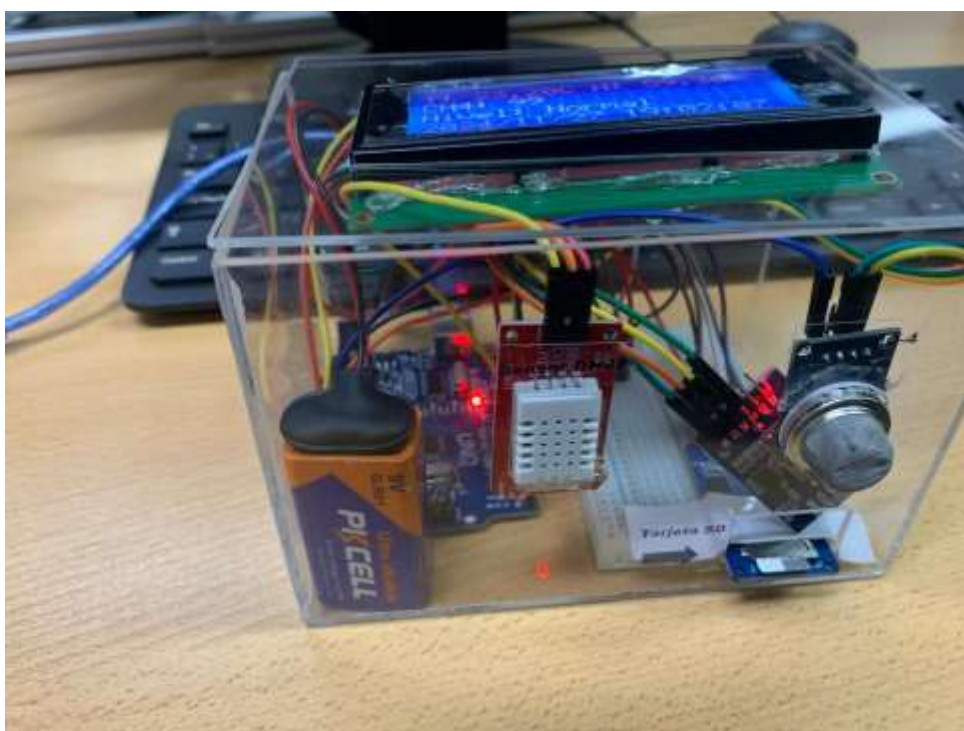
15:30:24.471 -> 171 ppm	171
15:30:25.133 -> 177 ppm	177
15:31:33.076 -> 177 ppm	177
15:31:33.764 -> 175 ppm	175
15:31:34.414 -> 178 ppm	178
15:31:35.100 -> 176 ppm	176
15:31:35.775 -> 178 ppm	178
15:31:36.474 -> 178 ppm	178
15:31:37.111 -> 179 ppm	179
15:31:37.805 -> 177 ppm	177
15:31:38.459 -> 177 ppm	177
15:31:39.155 -> 174 ppm	174
15:31:39.849 -> 171 ppm	171
15:31:40.504 -> 169 ppm	169
15:32:00.748 -> 169 ppm	169
15:32:01.409 -> 172 ppm	172
15:32:02.084 -> 171 ppm	171
MEDICIÓN POR LA NARIZ	PPM
15:32:24.373 -> 184 ppm	184
15:32:25.011 -> 191 ppm	191
15:32:25.719 -> 194 ppm	194
15:32:26.359 -> 195 ppm	195
15:32:27.033 -> 196 ppm	196

15:32:27.731 -> 201 ppm	Se encontro gas metano	201
15:32:28.405 -> 186 ppm		186
15:32:29.091 -> 203 ppm	Se encontro gas metano	203
15:32:29.750 -> 195 ppm		195
15:32:30.402 -> 193 ppm		193
15:32:31.083 -> 192 ppm		192
15:32:31.761 -> 197 ppm		197
15:32:32.432 -> 196 ppm		196
15:32:33.120 -> 191 ppm		191
15:32:33.801 -> 193 ppm		193
15:32:34.461 -> 191 ppm		191
15:32:35.154 -> 190 ppm		190
15:32:35.808 -> 190 ppm		190
15:32:36.495 -> 191 ppm		191
15:32:37.177 -> 194 ppm		194
15:35:24.453 -> 186 ppm	Aire limpio	186
15:35:25.127 -> 185 ppm	Aire limpio	185
15:35:25.799 -> 185 ppm	Aire limpio	185
15:35:26.477 -> 186 ppm	Aire limpio	186
15:35:27.138 -> 186 ppm	Aire limpio	186
15:35:27.828 -> 188 ppm	Aire limpio	188
15:35:28.515 -> 188 ppm	Aire limpio	188
15:35:29.171 -> 185 ppm	Aire limpio	185

15:35:29.873 -> 186 ppm	Aire limpio	186
15:35:30.552 -> 187 ppm	Aire limpio	187
15:35:31.201 -> 188 ppm	Aire limpio	188
15:35:31.886 -> 187 ppm	Aire limpio	187
15:35:32.577 -> 186 ppm	Aire limpio	186
15:35:33.221 -> 186 ppm	Aire limpio	186
15:35:33.916 -> 188 ppm	Aire limpio	188
15:35:34.561 -> 186 ppm	Aire limpio	186
15:35:35.255 -> 188 ppm	Aire limpio	188
15:35:35.930 -> 190 ppm	Aire limpio	190
15:35:36.590 -> 190 ppm	Aire limpio	190
15:35:37.291 -> 190 ppm	Aire limpio	190
15:35:37.946 -> 188 ppm	Aire limpio	188
15:35:38.616 -> 189 ppm	Aire limpio	189
15:35:39.292 -> 188 ppm	Aire limpio	188
15:35:39.983 -> 187 ppm	Aire limpio	187
15:35:40.660 -> 186 ppm	Aire limpio	186
15:35:41.305 -> 190 ppm	Aire limpio	190
15:35:41.994 -> 188 ppm	Aire limpio	188
15:35:42.690 -> 189 ppm	Aire limpio	189
15:35:43.328 -> 191 ppm	Aire limpio	191
15:35:44.019 -> 191 ppm	Aire limpio	191
15:35:44.712 -> 190 ppm	Aire limpio	190

15:35:45.353 -> 188 ppm	Aire limpio	188
15:35:46.045 -> 189 ppm	Aire limpio	189
15:35:46.725 -> 188 ppm	Aire limpio	188
15:35:47.407 -> 188 ppm	Aire limpio	188
15:35:48.086 -> 186 ppm	Aire limpio	186
15:35:48.735 -> 186 ppm	Aire limpio	186
15:35:49.419 -> 189 ppm	Aire limpio	189
15:35:50.092 -> 189 ppm	Aire limpio	189
15:35:50.782 -> 187 ppm	Aire limpio	187
15:35:51.461 -> 192 ppm	Aire limpio	192
15:35:52.102 -> 183 ppm	Aire limpio	183
15:35:52.803 -> 180 ppm	Aire limpio	180
15:35:53.481 -> 177 ppm		177
15:36:38.674 -> 169 ppm	Aire limpio	169
15:36:39.334 -> 166 ppm	Aire limpio	166
15:36:39.994 -> 165 ppm	Aire limpio	165

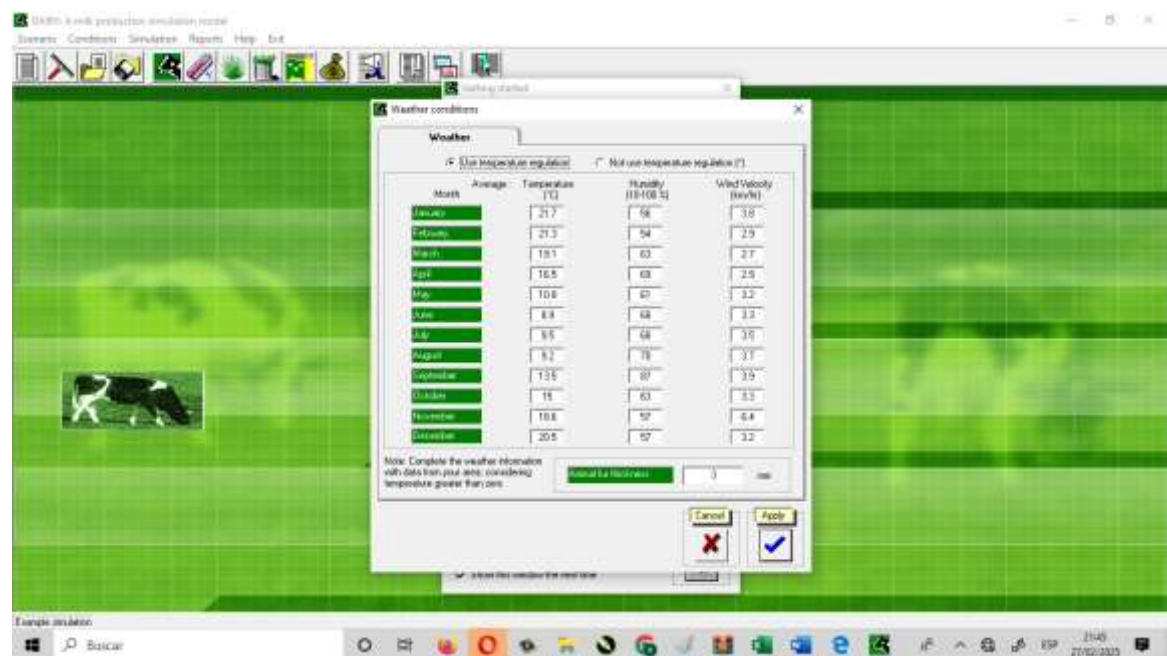
ANEXO 3. PROTOTIPO DE METANO RUMINAL



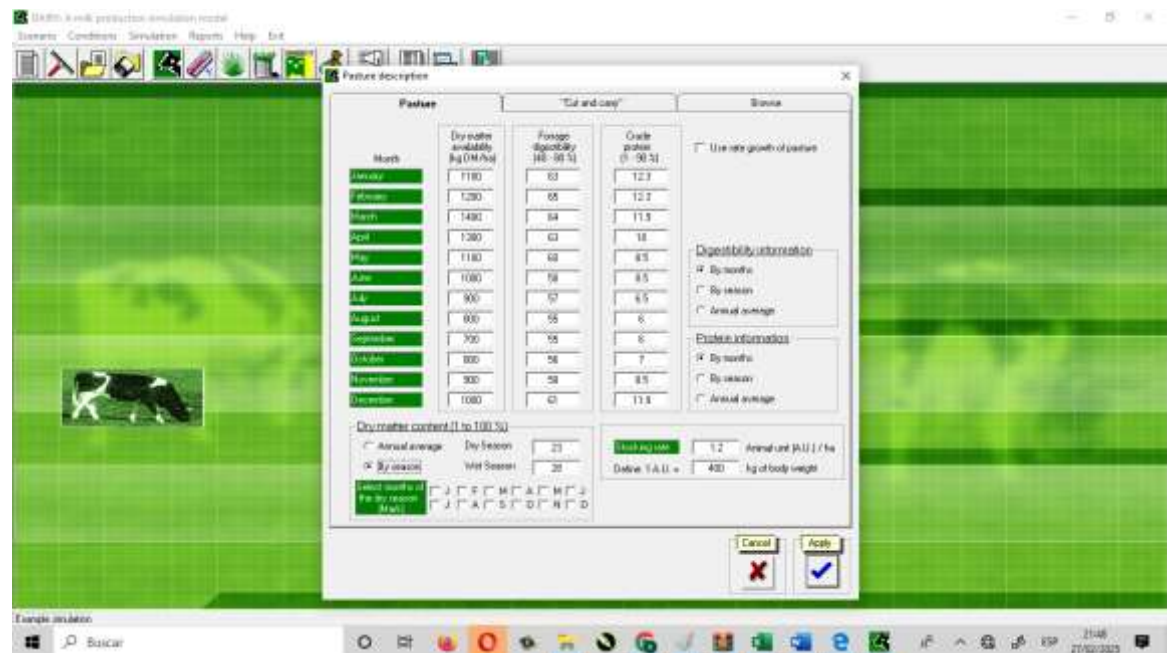
ANEXO 4. PANTALLA DEL SOFTWARE LIVE SIM ANIMAL



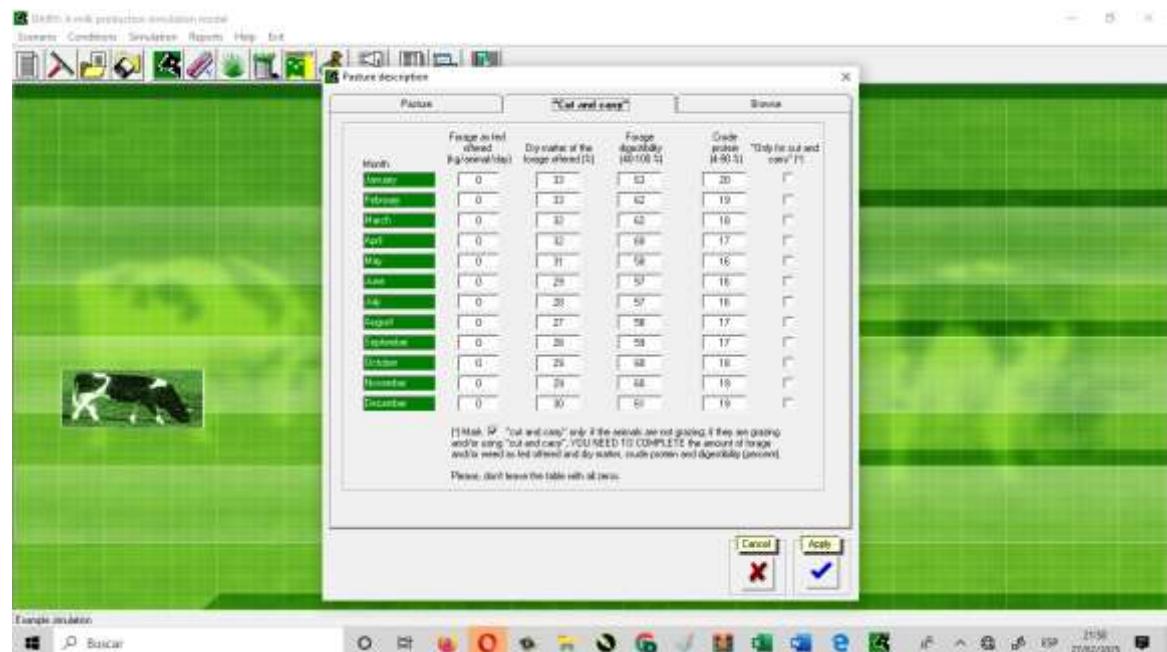
CLIMA

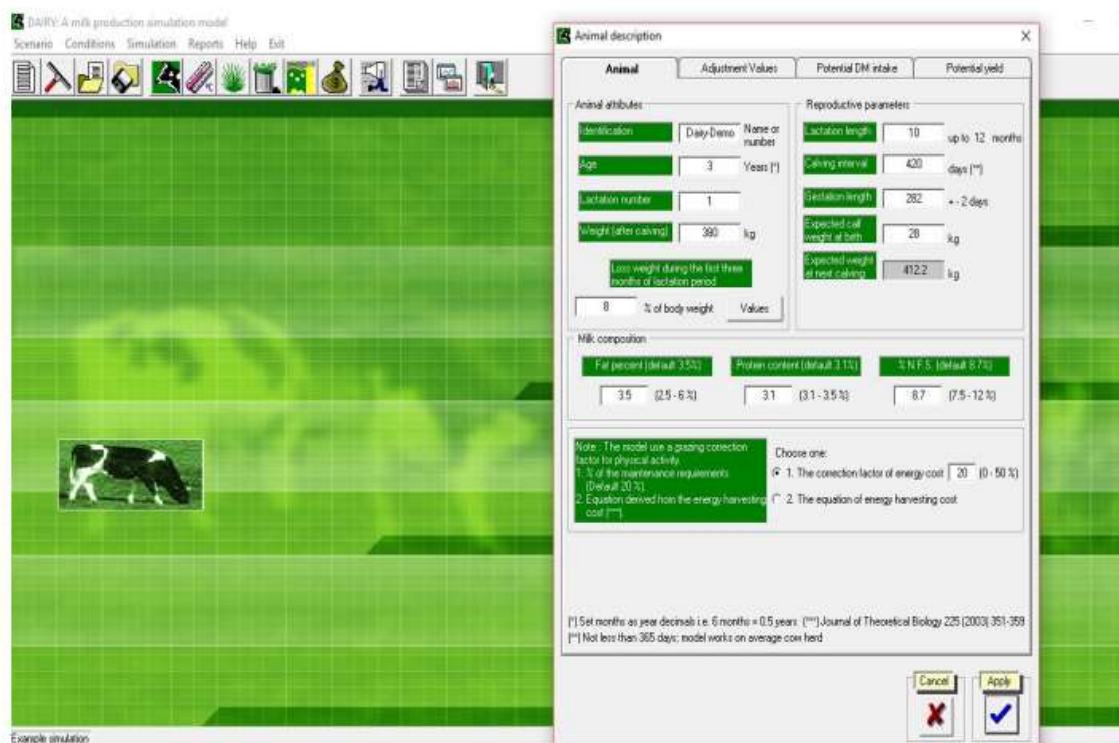


PASTURA



CUT AND CARRY





ANEXO 5.

Resultados de análisis de pasto Rye Grass

INFORME DE ENSAYO No 080538-22/PX/B AÑOS DEL INCA – LABSAF - INIA

ITEM	1	
Matriz analizada	Pasto	
Fecha de muestreo	21/02/2022	
Fecha de análisis	20/07/2022	
Código/ identificación de la muestra	Rye Grass T1	
Ensayo	Unidad	Resultado
Humedad	%	83,70
Materia seca	%	16,30
Cenizas	%	10,75
Proteína	%	13,52
Extracto etéreo	%	5,94
Fibra	%	21,33
ELN	%	41,46
METODOLOGÍA DE ENSAYO		
ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	
Proximal	Proximal de Wendee	



Datos del documento
Tipo de documento: BOLETA DE VENTA ELECTRONICA
Serie y correlativo: B002-2017
Fecha: 21-02-2022
Hora: 14:48:41

Datos del emisor				Adquirente / Usuario	
RUC: 2053977030 Nombre: ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA VISTA FLORIDA - CANTAYTOS Dirección: J. VASCONIA SN. LOS BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA, PERU (DEPARTAMENTO CAJAMARCA) Sectoral: PEA, BAÑOS DEL INCA				Identificación: DNI - DOCUMENTO DE NACIONAL DE IDENTIDAD Número de identificación: 36600012 Nombre: SELVA ABANTO ROGER Dirección: JR. PRIMAVERA N° 123 CAJAMARCA, CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA, PERU	

Cantidad	Unidad	Código	Código SUNAT	Descripción	Valor unitario	Importe
1.000	UNIDAD	00021	0	ANALISIS DE PASTO	S/ 42.37 42.3720815556	S/ 42.37

Información adicional
PERU SERVICIO DE ANALISIS PROXIMAL EN PASTOS DIRECCION N° 037-EFA-BU-2022 EXISTENTE EN EL JR. WRACOCHA SN - BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA

Total impuestos
Total IGV 18%: S/ 7.63

Totales del documento
Total Gravados: S/ 42.37 Importe total de la venta: S/ 50.00

Monto en letra: CINCUENTA Y 00/100 SOLES



Representación impresa de una boleta de venta electrónica
Documento generado por THE FACTORY HKA
Tel. (511) 719 3650 - <https://facturasec.thefactoryhka.com.pe/>
Puede descargar su comprobante desde el sitio
<https://factura.thefactoryhka.com.pe/consultadocumentos>

INFORME DE ENSAYO N° 080538-22/PX/BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : ROGER SILVA ABANTO
 Propietario / Productor : ROGER SILVA ABANTO
 Dirección del cliente : Jr. Primavera N° 123 - Cajamarca
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 1
 Producto declarado : Pato
 Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : Fundo Huacari - Cajamarca
 Fecha(s) de muestreo : 21/02/2022
 Fecha de recepción de muestra(s) : 21/02/2022
 Lugar de ensayo : LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 20/07/2022
 Colización del servicio : 0037-22-BI
 Fecha de emisión : 03/08/2022

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1					
Código de Laboratorio	PX091-EEBI-22					
Matriz Analizada	Pato					
Fecha de Muestreo	2022-02-21					
Hora de inicio de Muestreo (h)	--					
Condición de la muestra	Conservada					
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	Ryegrese T1					
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
Humedad	%	--	83,70			
Materia seca	%	--	16,30			
Cenizas	%	--	10,75			
Proteína	%	--	13,62			
Extracto etéreo	%	--	5,34			
Fibra	%	--	21,33			
ELN	%	--	41,48			

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Proximal	Proximal de Vientos

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingresa la Muestra: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL JOSEFA BARRIOS DEL INCA

Dr. Néstor Antonio Gómez Rojas
 DIRECTOR
 FIN DE INFORME DE ENSAYO

LABSAF BAÑOS DEL INCA
 Dirección: Jr. Wariacocha S/N Baños del Inca-Cajamarca
 Telf: 075-612043
 Email: labsof@inara.gob.pe

ANEXO 6

Resultados de Materia Seca

UNC

Muestra:	Resultados expresados en	
	Materia Seca (MS)	
<hr/>		
% Agua		
% MATERIA SECA (MS)		16,30 %
% CENIZAS (Cnz)		10,75%
% MATERIA ORGÁNICA (MO)		
% PROTEÍNA BRUTA (PB)		13,52 %
% FIBRA BRUTA (FB)		21,33%
% EXTRACTO ETEREO (EE)		5,94 %
% ELN		41,46 %

INFORME DEL ANALISIS PROXIMAL: BRAMATOLÓGICO - 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS PECUARIAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS Y CONTROL DE ALIMENTOS
CIUDAD UNIVERSITARIA AV. ATAHUALPA N° 1050 - EDIFICIO 2A - 204 - FIJO 076365974 - CELULAR N° 993066941

INFORME DEL ANÁLISIS PROXIMAL: BRAMATOLÓGICO - 2022

SOLICITANTE: RÓGER SAMUEL SILVA ABANTO, DOCTORANDO DE LA ESCUELA DE POSGRADO - UNC

PRODUCTO: LECHE ENTERA FRESCA - RAZA HOLSTEIN (DENOMINACIÓN RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE)

PROCEDENCIA: DISTRITO, PROVINCIA Y REGIÓN CAJAMARCA - PERÚ

PRESENTACIÓN: DOBLE BOLSA PLÁSTICA TRANSPARENTE, CONTENIENDO LA MUESTRA A ANALIZAR.

REGISTRO SANITARIO N° : SIN REGISTRO

FECHA DE PRODUCCIÓN : SIN FECHA

FECHA DE VENCIMIENTO : SIN FECHA

RESPONSABLE DEL MUESTREO: EL SOLICITANTE, MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE.

TAMAÑO O N° DE LOTE : -----

FECHA DE RECEPCIÓN EN LABORATORIO : 28/11/2022

FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS : 29/11/2022

FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ANÁLISIS : 05/12/2022

EXÁMEN SOLICITADO: BRAMATOLÓGICO - MÉTODO OFICIAL DE ANÁLISIS "ASSOCIATION of OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST - AOAC - 1997"

RESULTADOS: EXÁMEN FÍSICO QUÍMICO EN 100 GRAMOS DE MUESTRA

PARÁMETROS EVALUADOS (%)	LECHE FRESCA ENTERA RAZA HOLSTEIN
AGUA	89.18
SÓLIDOS TOTALES	10.82
PROTEÍNA CRUDA	2.99
EXTRACTO ETÉREO (GRASA BRUTA)	3.09
CENIZAS (MINERALES TOTALES)	0.89
LACTOSA (CARBOHIDRATOS)	3.85
ENERGÍA BRUTA (Cal/100 gr.)	61.92



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS PECUARIAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS Y CONTROL DE ALIMENTOS

Ing. Jorge Alcántara Mendoza
RUC. 20110150442
TÉCNICO EN LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS PECUARIAS
LABORATORIO DE ANALISIS Y CONTROL DE ALIMENTOS
CIUDAD UNIVERSITARIA AV. ATAHUALPA N° 1080 - EDIFICIO 2A - 304 - FLOJO 076265974 - CELULAR N° 993066941

INFORME DE ANALISIS PROXIMAL (100% DE MATERIA SECA)

SOLICITANTE : ROGER SAMUEL SILVA ABANTO, DOCTORANDO DE LA ESCUELA DE POSGRADO – UNC

PRODUCTO: Rye Grass – Trébol. 30 días

Fecha : 28/11/2022

PROCEDENCIA: DISTRITO, PROVINCIA Y REGION CAJAMARCA – PERÚ

PRESENTACIÓN: DOBLE BOLSA PLASTICA Y TRANSPARENTE, CONTENIENDO LA MUESTRA A ANALIZAR

REGISTRO SANITARIO No : SIN REGISTRO

FECHA PRODUCCIÓN : SIN FECHA

FECHA DE VENCIMIENTO : SIN FECHA

TAMAÑO O NUMERO DE LOTE

FECHA DE RECEPCION EN LABORATORIO : 28/11/2022

FECHA DE INICIO DE ANALISIS : 29/11/2022

FECHA DE FINALIZACIÓN DE ANÁLISIS : 05/12/2022

EXAMEN SOLICITADO : ANALISIS PROXIMAL (100% DE MATERIA SECA)

RESULTADOS: EXAMEN FISICO QUIMICO EN 100 GRAMOS DE MUESTRA

No MUESTRA (VAQUILLONA)	Materia seca %	Proteina cruda %	Extracto etéreo %	Fibra cruda %	Extracto libre de nitrógeno (E.L.N)	Cenizas %
1	18.10	14.98	2.25	16.87	57.16	8.74
2	15.58	13.45	4.29	26.70	48.25	7.22
3	17.30	16.95	4.51	24.07	46.97	7.50
4	14.97	19.94	4.37	20.70	47.77	7.13
5	15.62	15.62	4.70	31.26	40.50	7.92
6	16.44	22.47	4.98	29.29	36.16	7.10
7	15.23	19.01	4.90	29.20	39.91	6.98
8	15.77	22.86	4.68	22.79	42.26	7.41
9	15.58	13.16	1.92	15.78	61.45	8.09
10	16.20	17.65	6.07	33.42	34.48	8.38



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS PECUARIAS
LABORATORIO DE ANALISIS Y CONTROL DE ALIMENTOS

Ing. Roger Samuel Silva Abanto
TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS PECUARIAS
LABORATORIO DE ANALISIS Y CONTROL DE ALIMENTOS
CUIDAD UNIVERSITARIA AV. ATAHUALPA N° 1080 - EDIFICIO 2A - 304 - FLEJO 076365974 - CELULAR N° 993066941

INFORME DE ANALISIS PROXIMAL (100% DE MATERIA SECA)

SOLICITANTE : ROGER SAMUEL SILVA ABANTO, DOCTORANDO DE LA ESCUELA DE POSGRADO – UNC

PRODUCTO: Rye Grass – Trébol. 30 días

Fecha : 28/11/2022

PROCEDENCIA: DISTRITO, PROVINCIA Y REGION CAJAMARCA – PERÚ

PRESENTACIÓN: DOBLE BOLSA PLASTICA Y TRANSPARENTE, CONTENIENDO LA MUESTRA A ANALIZAR

REGISTRO SANITARIO No : SIN REGISTRO

FECHA PRODUCCIÓN : SIN FECHA

FECHA DE VENCIMIENTO : SIN FECHA

TAMAÑO O NUMERO DE LOTE

FECHA DE RECEPCION EN LABORATORIO : 28/11/2022

FECHA DE INICIO DE ANALISIS : 29/11/2022

FECHA DE FINALIZACIÓN DE ANÁLISIS : 05/12/2022

EXAMEN SOLICITADO : ANALISIS PROXIMAL (100% DE MATERIA SECA)

RESULTADOS: EXAMEN FISICO QUIMICO EN 100 GRAMOS DE MUESTRA

No MUESTRA (VACA)	Materia seca %	Proteína cruda %	Extracto etéreo %	Fibra cruda %	Extracto libre de nitrógeno (E.L.N)	Cenizas %
1	85.97	13.54	4.68	25.21	49.32	7.25
2	84.17	13.45	4.29	26.70	48.25	7.22
3	83.93	16.95	4.51	24.07	46.97	7.50
4	85.34	19.94	4.37	20.70	47.77	7.13
5	87.17	15.62	4.70	31.26	40.50	7.92
6	85.73	22.47	4.98	29.29	36.16	7.10
7	85.97	19.01	4.90	29.20	39.91	6.98
8	86.70	22.86	4.68	22.79	42.26	7.41
9	83.60	22.73	5.90	25.60	37.84	7.93
10	83.44	17.65	6.07	33.42	34.48	8.38



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS PECUARIAS
LABORATORIO DE ANALISIS Y CONTROL DE ALIMENTOS

Ing. Roger Samuel Silva Abanto
TITULO DE DOCTORANDO

150

LIFE SIM

Nueva tabla_1 : 15/12/2024 - 09:25:20 p. m. - [Versión : 30/04/2020]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
METANO (kg vaca-1 día-1)	20	0.98	0.97	3.54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13117.64	3	4372.55	228.77	<0.0001
ALIMENTO	3.30	1	3.30	0.17	0.6834
CATEGORÍA	13108.22	1	13108.22	685.83	<0.0001
ALIMENTO*CATEGORÍA	6.12	1	6.12	0.32	0.5795
Error	305.81	16	19.11		
Total	13423.44	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.14472

Error: 19.1129 gl: 16

ALIMENTO Medias n E.E.

RG 124.04 10 1.38 A

TR 123.23 10 1.38 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.14472

Error: 19.1129 gl: 16

CATEGORÍA Medias n E.E.

Vaca 149.24 10 1.38 A

Vaq 98.04 10 1.38 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.91069

Error: 19.1129 gl: 16

ALIMENTO CATEGORÍA Medias n E.E.

RG Vaca 150.20 5 1.96 A

TR Vaca 148.28 5 1.96 A

TR Vaq 98.18 5 1.96 B

RG Vaq 97.89 5 1.96 B

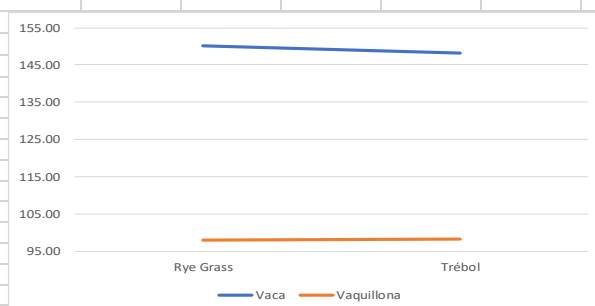
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

4. Conclusión

- 1) No existen evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula, por tanto, no existen diferencias significativas (p<0,05) entre el metano producido por las los animales que son alimentados con RG y los animales que son alimentados con TR.
- 2) Existen evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula, por tanto, existen diferencias significativas (p<0,05) entre el metano producido por las vacas y el metano producido por las vaquillas/vaquillonas.
- 3) Existen evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula, por tanto, existen diferencias significativas (p<0,05) entre el metano producido por las combinaciones entre los niveles de los factores.
- 4) No Existen evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula, por tanto, no existe interacción entre los factores.

Análisis de Efectos

	Rye Grass	Trébol		
Vaca	150.19	148.28	-1.92	
Vaquillona	97.89	98.18	0.29	0.812
	-52.31	-50.10		
		51.20		



PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Combinación	Rye Grass-Vaca	Rye Grass-Vaquillona	Trébol-Vaca	Trébol - Vaquillona
	150.19 ^a	97.89 ^b	148.28 ^a	98.18 ^b
Alimento	Rye Grass		Trébol	
	124.04 ^a		123.23 ^a	
Categoría	VACA		VAQUILLONA	
	149.24 ^a		98.03 ^b	

Combinación	Rye Grass-Vaca	Rye Grass-Vaquillona	Trébol-Vaca	Trébol - Vaquillona
	150.19	97.89	148.28	98.18
Alimento	Rye Grass		Trébol	
	124.04		123.23	
Categoría	VACA		VAQUILLONA	
	149.24		98.03	

*a,b,c y d letras diferentes indican diferencia significativa (p<0.05)

ANEXO 8. Análisis de Weende

Las muestras de pastos frescos son procesadas en el laboratorio de bromatología del INIA Estación Experimental Agraria Baños del Inca para extraer la muestra seca de un alimento es posible la eliminación del contenido de agua por medio del pre secado y/o secado definitivo. (Teuber, 2007).

La muestra etiquetada nos identifica fecha y hora de corte de pasto, ubicación del predio, propietario.

Se procede a trozar en pedazos de 5 cm para ingresar a la estufa de resecación con circulación forzada de aire, regulada a 60 grados centígrados (+/- 5 o) y regulada hasta 105 grados centígrados.

Se toma un crisol vacío de la estufa 100 – 105 grados centígrados, se lleva al desecador por 15 a 25 minutos mínimo, se pesa el crisol vacío en una balanza de precisión, se tara a 0, una vez tarada, se pone la balanza de precisión en 0 g con el crisol encima, y se colocan entre 3 y 5 g de muestra fresca (MF).

Se coloca el crisol en la estufa a 100 – 105 grados centígrados y se mantiene hasta que alcance un peso constante (mínimo 4 hr o durante 24 horas).

Se retira el crisol de la estufa con una pinza y se coloca en el desecador hasta que éste se enfrié durante 15 – 25 minutos.

Se pesa de nuevo el crisol con la muestra seca (T + MS)

- Pre secado o muestra seca al aire (MSA)

Pesar el material verde en la balanza con precisión de 0,1 gr y colocarlo en un recipiente propio, previamente pesado. Es recomendable el uso de bandejas confeccionadas con tela o bolsas de papel perforados para permitir la circulación de aire a través de la muestra.

Colocar en la estufa con circulación forzada de aire, regulada a 60°C (más o menos 5°C).

Después de 2 o 3 días, retirar la muestra de la estufa; dejar enfriar durante cerca de 1 hora en temperatura ambiente o hasta que la humedad de la muestra entre en equilibrio con la humedad del aire, y pesar. Ese material es llamado de muestra pre-seca o muestra seca al aire (MSA).

- Secado definitivo o muestra seca en la estufa (MSE)

Numerar y estandarizar los crisoles, colocarlos en la estufa a 105°C/4 horas (numerar para evitar que sean cambiados). Dejar enfriar en el desecador (con silica) hasta alcanzar la temperatura ambiente y pesar, anotando los pesos (tarar).

Pesar de 3 a 5 gr de muestra pre-seca (MSA) (ensilaje o forrajes) y triturada, en balanza analítica con precisión de 0,0001 gr en el crisol, previamente tarado.

Colocar en estufa regulada a 105°C /4 horas. Cuando se trabaja con una gran cantidad de muestras, se pueden dejar en la estufa durante una noche.

Enseguida, retirar de la estufa los crisoles con la muestra ya seca y colocarlos en el desecador con silica, dejando enfriar más o menos 1 hora y pesar nuevamente, siempre usando pinza. La diferencia entre los pesajes debe ser inferior al 1% y esta operación debe ser hecha para verificar la constancia de peso.

Cuando se realice análisis de secado definitivo y de cenizas, se puede pesar el material directo en los crisoles de porcelana; después del procedimiento para determinación del secado definitivo, se incineran los crisoles para determinar las cenizas. Este procedimiento tiene la ventaja de ganar tiempo, aprovechando el material pesado para M.S, (se puede utilizar la misma planilla para anotaciones).

Cálculo de la humedad del pasto

$$\%MS = (((T + MS) - T) / MF) \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 100 - \% MS$$

Cálculo de la materia seca del pasto

$$\% \text{ MS} = 100 - \% \text{ Humedad}$$

Dónde:

% MS: Porcentaje de materia seca.

% Humedad: Porcentaje de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} \right) \times 100$$

Finalmente, en el molino se procedió a pulverizar las muestras y luego acondicionarlas en bolsas de papel para ser enviadas al laboratorio para realización de análisis bromatológico y así obtener los datos de proteína y digestibilidad de la pastura. (FAO, 1976),

INFORME DE ENSAYO

N° 080538-22/PX/BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : ROGER SILVA ABANTO
 Propietario / Productor : ROGER SILVA ABANTO
 Dirección del cliente : Jr. Primavera N° 123 - Cajamarca
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 1
 Producto declarado : Pato
 Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : Fundo Huacari - Cajamarca
 Fecha(s) de muestreo : 21/02/2022
 Fecha de recepción de muestra(s) : 21/02/2022
 Lugar de ensayo : LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 20/07/2022
 Colización del servicio : 0037-22-BI
 Fecha de emisión : 03/08/2022

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1					
Código de Laboratorio	PX091-EEBI-22					
Matriz Analizada	Pato					
Fecha de Muestreo	2022-02-21					
Hora de inicio de Muestreo (h)	--					
Condición de la muestra	Conservada					
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	Ryegrese T1					
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
Humedad	%	--	83,70			
Materia seca	%	--	16,30			
Cenizas	%	--	10,75			
Proteína	%	--	13,62			
Extracto etéreo	%	--	5,34			
Fibra	%	--	21,33			
ELN	%	--	41,48			

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Proximal	Proximal de Vientos

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingresa la Muestra: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL JOSEFA BARRIOS DEL INCA

Dr. Víctor Antonio Gómez Rojas
 DIRECTOR

FIN DE INFORME DE ENSAYO

LABSAF BAÑOS DEL INCA
 Dirección: Jr. Wacacocha S/N Baños del Inca-Cajamarca
 Telf: 075-612043
 Email: labsaf_banos@inpa.gob.pe

ANEXO 9. Life Sim para vacas en producción

Se utilizó el software de simulación Life Sim los datos de entrada son la característica del animal, detalle de pasturas, datos del forrajes de corte, las condiciones climáticas (temperatura en grados centígrados, humedad relativa y velocidad del viento) en determinado período, no se utiliza suplementos en la alimentación del ganado por lo que solo consumen leguminosas y gramíneas, los costos de los alimentos y productos para obtener la estimación de la emisión de metano en $\text{kg vaca}^{-1}\text{año}^{-1}$.

ANEXO 10. Características del animal

Para poder procesar la información en el software Life Sim Dairy v.15.1 se tiene que considerar al ganado vacuno en producción. La selección es de 5 vacas de raza Holstein con el alimento Rye Grass y 5 vacas de raza Holstein con alimento Trébol con edades promedio de 8 años y 7 años y con peso promedio similar.

Características del tipo de Alimento

El alimento utilizado es el Rye Grass y Trébol para vacas en producción en una proporción de 80% de Rye Grass y 20% Trébol la segunda proporción es 70% Rye Grass y 30% Trébol. Cantidad en kg entre 3 a 20 kg

Característica de la raza Holstein

La información registrada de la raza Holstein de vacas en producción cuyos parámetros reproductivos son: raza Holstein, edad, edad al primer parto, peso en kg, intervalo de parto, duración de la gestación, peso del ternero al nacer.

Parámetros productivos de la vaca en producción tales como duración de la lactancia, producción de leche diaria y acumulada, calidad de la leche se recoge muestra para analizar los datos de grasa, proteína y sólidos no grasos.

a) Parámetros reproductivos

Edad: Se ordenó la información por fecha de nacimiento de las vacas y vaquillonas del ganado de raza Holstein luego se calculó la edad de cada vaca.

Edad al primer parto: Del cuaderno de registro de ganado se obtuvo la edad de la primera cría de la hacienda Huacariz.

Peso vivo: Para medir el peso vivo de las vacas de raza Holstein se utilizó la cinta bovino métrica.

El procedimiento se aprovechó la hora del ordeño para la cual se aseguró amarrar las patas traseras el animal en posición de las cuatro patas en ángulo recto el animal de pie.

Se envolvió la cinta bobino métrica alrededor del cuerpo en la circunferencia más pequeña detrás de los hombros, se registró lo que indica la cinta bovino métrica

Intervalo de parto: Con el registro del productor se determinó del periodo transcurrido entre partos en la vaca. Desde los días de la fecha del último parto a la fecha de parto inmediato anterior en la raza Holstein.

El periodo Inter parto por lo general es de 365 días otros indican que debe ubicarse entre 12 y 13 meses (Barletra, 2001), dicho indicador está en relación al número de partos en la vida reproductiva. La duración varía ya que los factores dependen del manejo, raza, edad (Sánchez, 2010).

Duración de la gestación: El tiempo de la gestación de la vaca en producción es de 9 meses o 280 días tomado a partir de la fecundación los rangos comprende entre 276 y 283 días de gestación y varía según la raza, el tamaño, la edad de la vaca gestante

DATOS PRODUCTIVOS Y REPRODUCTIVOS											
VACAS Y VAQUILLONAS FUNDO HUACARIZ											
No	CODIGO ANIMAL	IDENTIFICACIÓN	RAZA	FECHA NACIMIENTO	EDAD	FECHA PRIMER PARTO	PESO	DURACION LACTANCIA	INTERVALO ENTRE PARTO	GESTACION	PESO NACER
1	133	UNSHA	Holstein	7/03/2011	10	2/05/2013	500	11	530	9	45
2	150	FIONA	Holstein	24/06/2012	9	26/11/2014	510	12	430	9	40
3	155	A-ILARISA	Holstein	5/09/2012	9	29/03/2015	520	13	450	9	40
4	161	CARNAVAL	Holstein	9/02/2012	9	20/12/2015	530	9	500	7	38
5	177	CHULA	Holstein	29/03/2011	10	8/12/2016	540	11	550	9	40
6	163	RETAMA	Holstein	10/07/2014	7	10/07/2015	540	12	430	9	45
7	154	CIELO	Holstein	15/12/2015	6	8/04/2017	510	12	400	9	38
8	155	MAMY	Holstein	7/03/2015	6	1/03/2017	520	10	385	9	40
9	156	WIFI	Holstein	10/07/2015	6	13/08/2017	530	12	380	9	42
10	157	LITA	Holstein	19/07/2015	6	7/05/2018	500	12	400	9	40
11	158	PEPA	Holstein	20/07/2019	2	14/11/2017	380	12	380	9	40
12	159	NENA	Holstein	4/08/2019	2	15/09/2017	420	10	420	9	45
13	161	PALOMA	Holstein	20/12/2019	2	13/04/2018	380	12	380	9	38
14	164	NIEVE	Holstein	30/05/2019	2	13/10/2018	380	11	380	9	37
15	165	SUMA	Holstein	24/01/2020	1	17/07/2019	420	11	420	9	39
16	166	JULIA	Holstein	6/02/2019	2	8/09/2019	350	11	450	9	40
17	167	ITALIA	Holstein	8/02/2019	2	25/06/2019	360	12	460	9	45
18	168	HUAYNO	Holstein	1/03/2018	3	2/04/2020	383	12	483	9	40
19	170	SHULAL	Holstein	28/08/2019	2	20/03/2020	400	12	500	9	40
20	174	NINA	Holstein	13/09/2019	2	13/09/2017	420	12	520	9	40
21	176	COCACOLA	Holstein	17/11/2017	4	17/11/2017		11	430	9	42
22	180	FIONA	Holstein	5/06/2018	3	5/06/2018		13	460	9	40
23	185	CANCÚN	Holstein	13/10/2018	3	13/10/2018		9	395	9	41
24	186	FRANCIA	Holstein	21/10/2018	2	21/10/2018		11	425	9	31
25	187	PERLA	Holstein	25/10/2018	2	15/10/2018		12	390	9	31

b) Parámetros productivos

Duración de la lactancia: De acuerdo con el registro el periodo de lactancia de la vaca en producción hasta antes de que seque, contando los meses durante la vaca estuvo en producción de leche.

Producción de leche: Se elaboró un registro de ordeño de las vacas en los turnos de mañana y tarde para obtener registro diario, semanal y mensual de leche. Se solicitó el análisis de leche donde al sistema se ingreso: los parámetros solicitados de solidos totales, grasa, proteína cruda. (ver anexo 6.1))



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS PECUARIAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS Y CONTROL DE ALIMENTOS
CIUDAD UNIVERSITARIA AV. ATAHUALPA N° 1050 - EDIFICIO 2A - 204 - FIJO 076365974 - CELULAR N° 993066941

INFORME DEL ANÁLISIS PROXIMAL: BROMATOLÓGICO - 2022

SOLICITANTE: **RÓGER SAMUEL SILVA ABANTO, DOCTORANDO DE LA ESCUELA DE POSGRADO - UNC**

PRODUCTO: **LECHE ENTERA FRESCA - RAZA HOLSTEIN (DENOMINACIÓN RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE)**

PROCEDENCIA: **DISTRITO, PROVINCIA Y REGIÓN CAJAMARCA - PERÚ**

PRESENTACIÓN: **DOBLE BOLSA PLÁSTICA TRANSPARENTE, CONTENIENDO LA MUESTRA A ANALIZAR.**

REGISTRO SANITARIO N° : **SIN REGISTRO**

FECHA DE PRODUCCIÓN : **SIN FECHA**

FECHA DE VENCIMIENTO : **SIN FECHA**

RESPONSABLE DEL MUESTREO: **EL SOLICITANTE, MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE.**

TAMAÑO O N° DE LOTE : **-----**

FECHA DE RECEPCIÓN EN LABORATORIO : **28/11/2022**

FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS : **29/11/2022**

FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ANÁLISIS : **05/12/2022**

EXÁMEN SOLICITADO: **BROMATOLÓGICO - MÉTODO OFICIAL DE ANÁLISIS "ASSOCIATION of OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST - AOAC - 1997"**

RESULTADOS: EXÁMEN FÍSICO QUÍMICO EN 100 GRAMOS DE MUESTRA

PARÁMETROS EVALUADOS (%)	LECHE FRESCA ENTERA RAZA HOLSTEIN
AGUA	89.18
SÓLIDOS TOTALES	10.82
PROTEÍNA CRUDA	2.99
EXTRACTO ETÉREO (GRASA BRUTA)	3.09
CENIZAS (MINERALES TOTALES)	0.89
LACTOSA (CARBOHIDRATOS)	3.85
ENERGÍA BRUTA (Cal/100 gr.)	61.92



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS PECUARIAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS Y CONTROL DE ALIMENTOS

Ing. Jorge ...
ING. ...
TÉCNICO EN ...

Clima.

Las características registradas de las condiciones climáticas del área de estudio. Se sistematizó datos meteorológicos de la Estación Augusto Weberbauer correspondientes al año 2022, de los parámetros de temperatura media (°C), humedad (%), velocidad del viento (Km/h), estos datos fueron solicitados al SENAMHI Cajamarca los mismos que se muestran a continuación. (ver anexo 11)

ANEXO 11

Condiciones climáticas del año 2022

N°	Mes	Temperatura	Precipitación	Humedad	Velocidad
		Media	Total		del Viento
		(°C)	(mm)	(%)	(km/h)
1	ENERO	14.9	99	65	3.2
2	FEBRERO	15.2	126.4	66	3.2
3	MARZO	15.1	117.3	69	4
4	ABRIL	14.7	73.3	66	4.3
5	MAYO	14.5	50.1	67	2.9
6	JUNIO	13.9	10.8	54	4.7
7	JULIO	14.3	0.5	56	6.1
8	AGOSTO	14.9	0	56	7.9
9	SETIEMBRE	15.1	24.4	57	5
10	OCTUBRE	15.5	61.8	61	4.7
11	NOVIEMBRE	15.9	97.4	66	4.3
12	DICIEMBRE	14.9	69.4	60	11.2
PROMEDIO		14.9	60.9	62	5.1

ANEXO 12. Costos de los productos

Se procesó datos de costos de leche que equivale a S/ 2 lt de leche equivalente 1.875 dólares por litro; estos datos nos permitieron correr el software Life Sim (Dairy v 15.1) para estimar la emisión de CH₄.

ANEXO 13. Carga animal

Carga Animal							
Fundo Huacariz							
No	CATEGORÍA	No de cabezas	Peso promedio/a nimal	Peso total (kg)	Unidad animal/vaca	Unidad animal categoría	Carga animal (UA/ha/año)
1	Vacas en producción	24	550	13200	$550/450 = 1.22$	$13200/450 = 29.33$	
2	Vacas en seca	1	600	600	1.33	1.33	
3	Vaquillonas en campo	10	320	3200	0.71	7.11	
4	Terneras en corrales	2	180	360	0.4	0.8	
5	Terneras en cunas	2	45	90	0.1	0.2	
6	Machos en cunas	1	40	40	0.08	0.08	
	TOTAL	40				28.18	$28.18/20 = 1.409$

ANEXO 13. Ensamblaje del prototipo

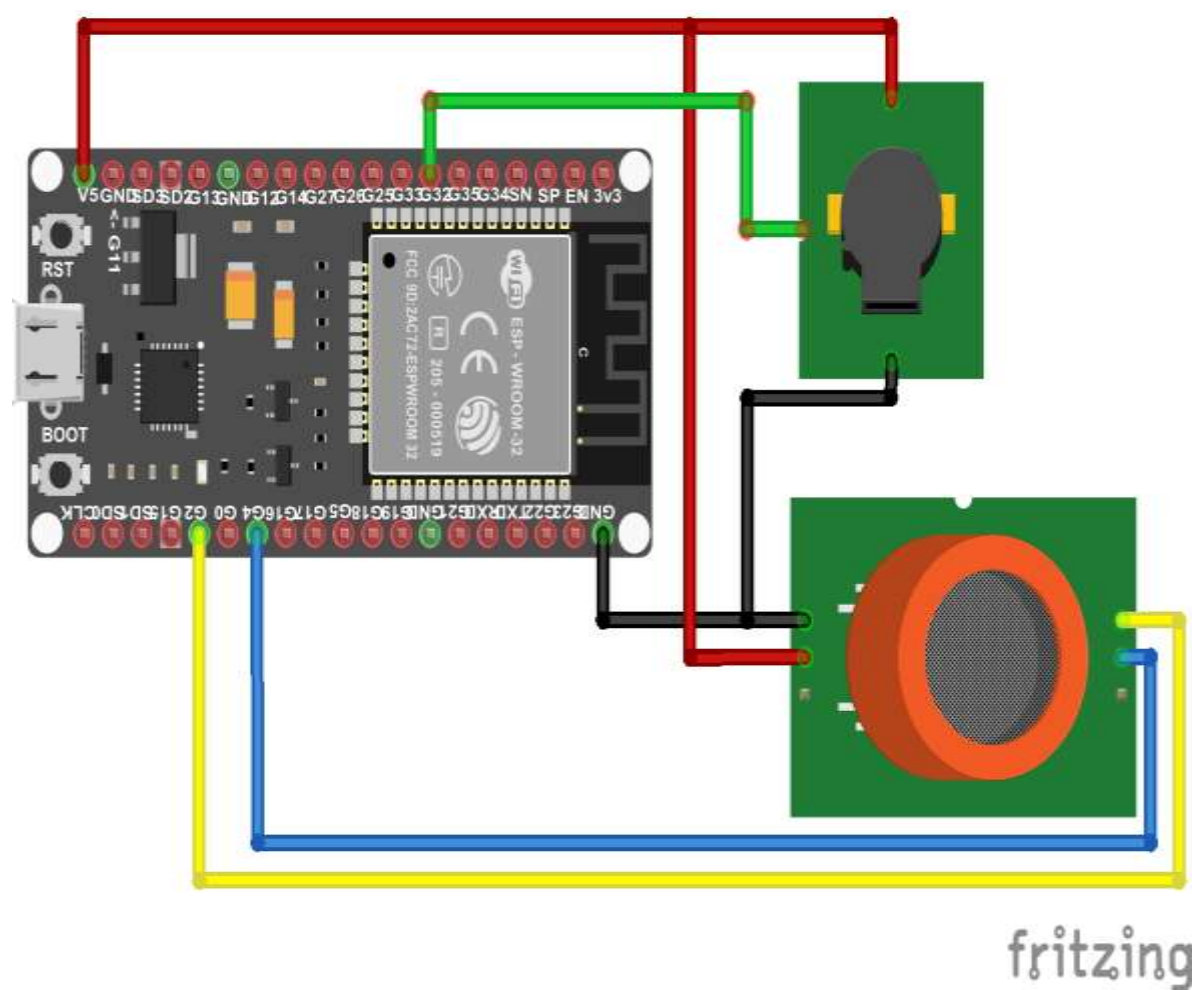
Requisitos:

Computadora

Arduino UNO

Sensor MQ-4

Ensamblaje del prototipo



Nota. Ensamblaje de prototipo con los sensores, la protoboard y la tarjeta Arduino UNO.

ANEXO 14. Programa de Arduino para lectura del metano

Para calibrar el sensor, lo ubicamos en un ambiente libre del gas que queremos medir y corremos el siguiente sketch con el sensor conectado al Grove Shield:

Código del programa

El código del programa para Arduino es el siguiente:

```
int pin_mq = 2;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  pinMode(pin_mq, INPUT);

}

void loop() {

  boolean mq_estado = digitalRead(pin_mq); //Leemos el sensor

  if(mq_estado) //si la salida del sensor es 1

  {

    Serial.println("Sin presencia de metano");

  }

  else //si la salida del sensor es 0

  {

    Serial.println("Metano detectado");

  }

  delay(100);

}
```

Programa de emisión de metano

```
#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <DHT.h>

#include <SPI.h>

#include <SD.h>

#include <RTCLib.h>

// Configuración del DHT22

#define DHTPIN 2    // Pin donde está conectado el DHT22

#define DHTTYPE DHT22 // Tipo de sensor DHT

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// Configuración del LCD I2C

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); // Dirección I2C y dimensiones del LCD

// Configuración del MQ-4

#define MQ4_PIN A0 // Pin analógico conectado al MQ-4

// Pin CS para la tarjeta SD

#define SD_CS_PIN 4

// RTC

RTC_DS3231 rtc;

// Definir umbral para el nivel de gas metano

#define MQ4_ALTO_UMBRALE 200 // Umbral ajustado a 200

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    // Inicializar el LCD

    lcd.init();
```

```

lcd.backlight();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Iniciando...");

// Inicializar el DHT

dht.begin();

// Inicializar la tarjeta SD

if (!SD.begin(SD_CS_PIN)) {

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("Error SD!");

    Serial.println("Error al inicializar la tarjeta SD");

    while (1);

}

// Inicializar el RTC

if (!rtc.begin()) {

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("Error RTC!");

    Serial.println("Error al inicializar el RTC");

    while (1);

}

if (rtc.lostPower()) {

    Serial.println("RTC perdido, configurando hora...");

    // Configurar la fecha y hora manualmente (Año, mes, día, hora, minuto,
segundo)

    rtc.adjust(DateTime(2024, 11, 27, 15, 30, 0)); // Ajusta la fecha y hora a tu
necesidad

```

```

    Serial.println("Hora configurada manualmente.");

}

lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Sistema listo!");

delay(2000);

}

void loop() {

    // Leer datos del DHT22

    float temperatura = dht.readTemperature();

    float humedad = dht.readHumidity();

    // Leer nivel de metano del MQ-4 (valor analógico de 0 a 1023)

    int valorMQ4 = analogRead(MQ4_PIN);

    // Obtener fecha y hora actual

    DateTime now = rtc.now();

    String fechaHora = String(now.year()) + "/" + (now.month() < 10 ? "0" : "") +

String(now.month()) +

        "/" + (now.day() < 10 ? "0" : "") + String(now.day()) +

        " " + (now.hour() < 10 ? "0" : "") + String(now.hour()) +

        ":" + (now.minute() < 10 ? "0" : "") + String(now.minute()) +

        ":" + (now.second() < 10 ? "0" : "") + String(now.second());

    // Determinar el nivel de metano (normal o alto)

    String nivelGas = (valorMQ4 > MQ4_ALTO_UMBRAL) ? "Alto" : "Normal";

    // Mostrar datos en el LCD

    lcd.clear();

```

```

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("T: ");

lcd.print(temperatura);

lcd.print("C H: ");

lcd.print(humedad);

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("CH4: ");

lcd.print(valorMQ4);

lcd.setCursor(0, 2);

lcd.print("Nivel: ");

lcd.print(nivelGas);

lcd.setCursor(0, 3);

lcd.print(fechaHora);

// Enviar datos al monitor serial

Serial.print("Fecha: ");

Serial.print(fechaHora);

Serial.print(", Temp: ");

Serial.print(temperatura);

Serial.print("C, Hum: ");

Serial.print(humedad);

Serial.print("%, CH4: ");

Serial.print(valorMQ4);

Serial.print(", Nivel: ");

Serial.println(nivelGas);

// Guardar datos en la tarjeta SD

```

```

File dataFile = SD.open("lecturas.txt", FILE_WRITE);

if (dataFile) {

    dataFile.print(fechaHora);

    dataFile.print(", Temp: ");

    dataFile.print(temperatura);

    dataFile.print("C, Hum: ");

    dataFile.print(humedad);

    dataFile.print("%, CH4: ");

    dataFile.print(valorMQ4);

    dataFile.print(", Nivel: ");

    dataFile.println(nivelGas);

    dataFile.close();

} else {

    Serial.println("Error al abrir el archivo en la SD");

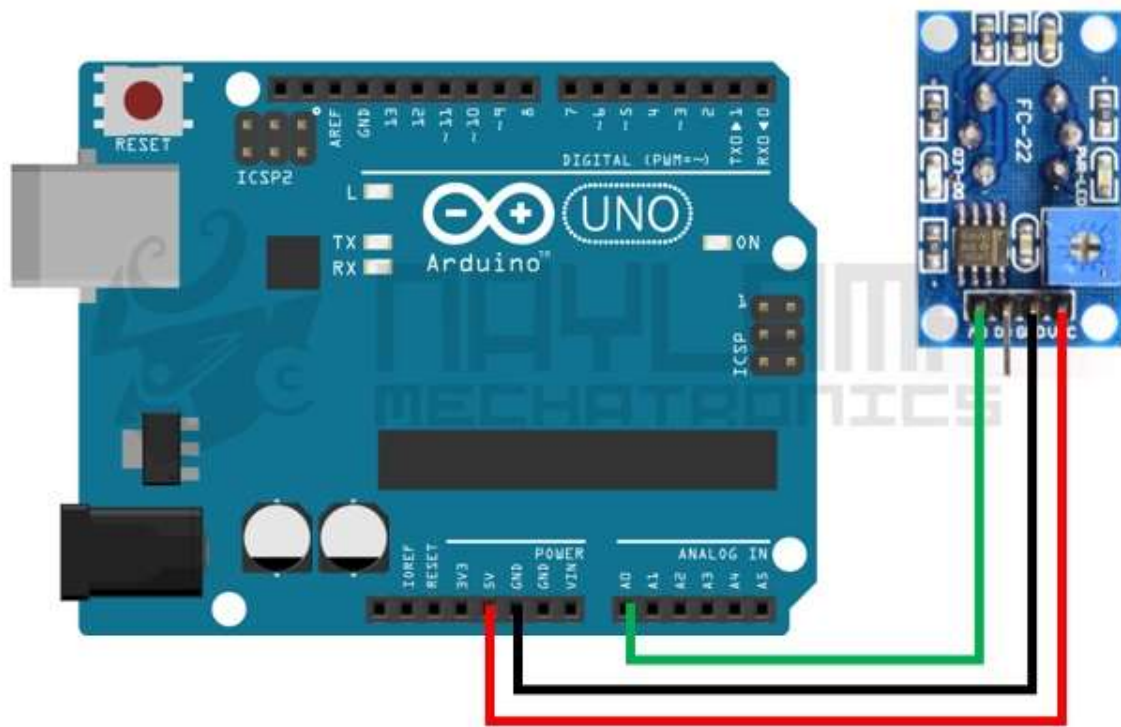
}

delay(2000); // Actualizar cada 2 segundos

}

```

Configuración del Arduino

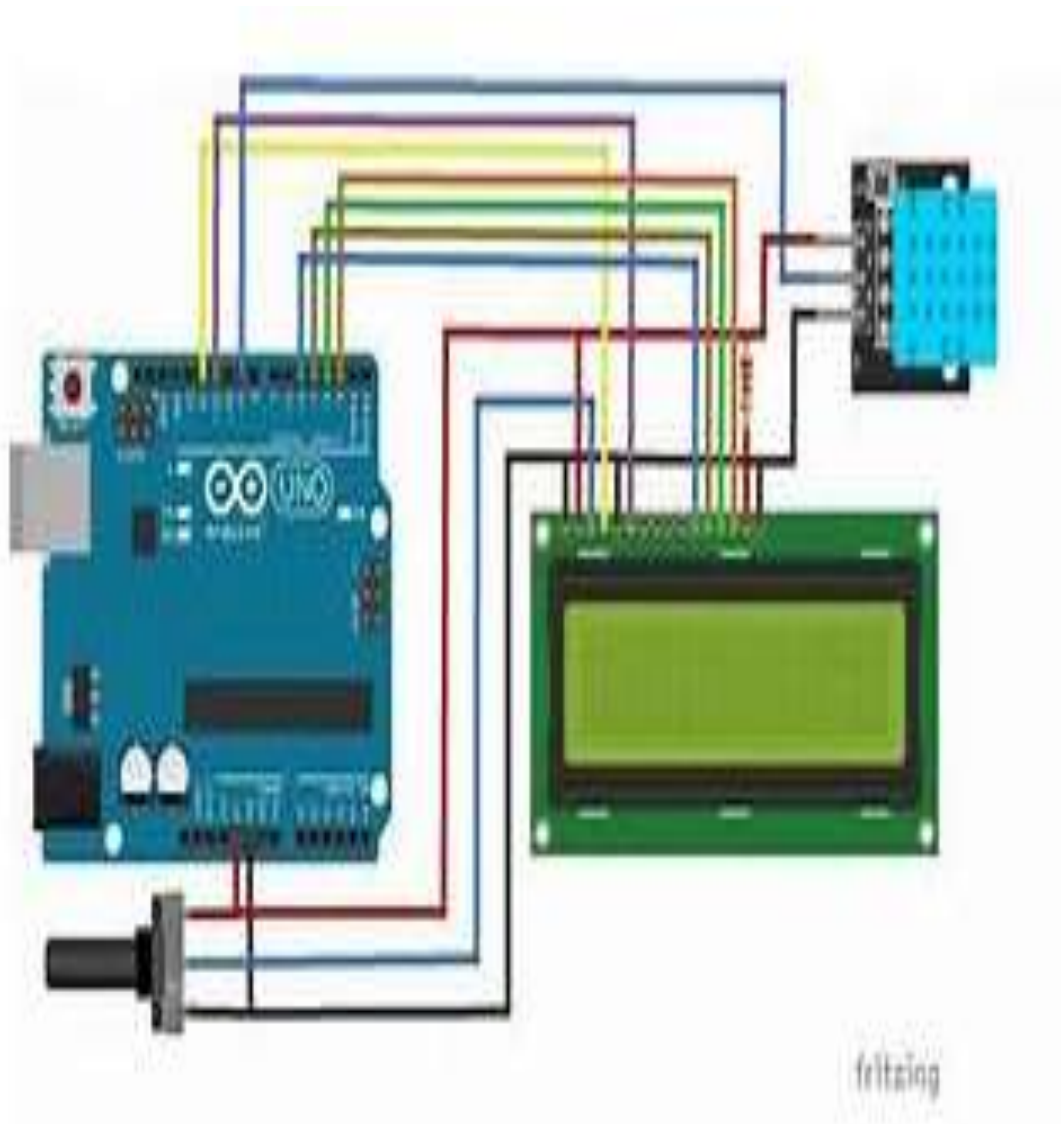


Nota. Configuración del Arduino Uno con el sensor de metano MQ4.

Ejecución del programa

- Si el programa desarrollado en C++ está sin errores entonces transfiere el programa a memoria del Arduino y si tiene errores corregir hasta que compile sin errores.
- Encender el prototipo, si detecta metano, entonces se enciende el led verde y muestra resultados en la pantalla LCD en cantidades (ppm) y plotea o grafica en señales, si no detecta metano se enciende el led rojo.
- Lectura en pantalla LCD y monitor de laptop

Configuración del Arduino con la pantalla LCD y los sensores



Nota. Ensamblaje del Arduino, el sensor, la pantalla LCD para los resultados.