

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL



**ESTIMACIÓN DEL METANO EN CUATRO SISTEMAS PASTORALES EN
CUATRO DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO**

Tesis

Para optar el grado académico de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA,

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

JHONATAN PORTOCARRERO ANTOÑO

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO
DIRECCIÓN



“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 001-2022-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 05:00 p.m. del martes 25 de enero de 2022, reunidos virtualmente vía Microsoft Teams, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**“ESTIMACIÓN DEL METANO EN CUATRO SISTEMAS
PASTORALES EN CUATRO DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE
LEONCIO PRADO”**

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental: JHONATAN PORTOCARRERO ANTOÑO.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando APROBADO con el calificativo de **MUY BUENO**.

Acto seguido, a horas 06:46 p.m. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
Dr. JORGE RIOS ALVARADO
Presidente del Jurado

.....
Dr. JOSÉ KALION GUERRA LÚ
Miembro del Jurado

.....
Ing. MSc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
Miembro del Jurado

.....
Ing. MSc. JOSÉ D. LÉVANO CRISÓSTOMO
Asesor

.....
Ing. MSc. RAFAEL R. ROBLES RODRÍGUEZ
Asesor



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO,
INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA

1. DATOS GENERALES DE POSGRADO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Escuela de posgrado	: EPG -UNAS
Maestría	: Ciencias en Agroecología
Mención	: Gestión Ambiental
Título de Tesis	: Estimación del metano en cuatro sistemas pastorales en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado.
Autor	: Jhonatan Portocarrero Antoño
Asesor(es)	: <i>M.Sc.</i> José Dolores Lévano Crisóstomo <i>M.Sc.</i> Rafael René Robles Rodríguez
Programa de investigación	: Ciencias y Tecnologías Ambientales
Línea de Investigación	: Tecnologías para Reducir la Contaminación
Eje temático de investigación	: Reducción de la Contaminación del Aire
Lugar de ejecución	: Cuatro Distritos de la Provincia de Leoncio Prado
Duración	: Fecha de inicio: noviembre 2018 : Fecha término: abril 2021
Financiamiento	: Precio S/. 9,769.10 nuevos soles
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

DEDICATORIA

Lleno de regocijo, de amor y esperanza, dedico este proyecto, a mis seres queridos, quienes han sido los pilares de mi vida para salir adelante.

Tengo una gran satisfacción de dedicarles a ellos, ya que con esfuerzo, esmero y trabajo me lo he ganado.

A mi madre, quien en vida fue, Feliza Antoño Isla, quien desde pequeño me motivó a seguir avanzando en mi vida profesional.

A mi padre, Oscar Raúl Portocarrero Sánchez, quien me apoyo en lo moral y en lo presencial, en la ejecución de este proyecto.

A mis hijos, Luz Valentina, Liam Estephano y Randall, que son el motivo de seguir avanzando en el cumplimiento de mis metas personales y profesionales, y comprender que con esfuerzo y perseverancia se logran grandes cosas en la vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), por ser parte de mi crecimiento académico y profesional, además por brindarme los servicios requeridos para la elaboración de este proyecto.

Del mismo modo, a mis asesores, el Ing. *M.Sc.* José Dolores Lévano Crisóstomo y el Ing. *M.Sc.* Rafael René Robles Rodríguez, quienes me guiaron y tuvieron paciencia durante el desarrollo de este proyecto.

Agradezco también a Ph.D. Carlos León Velarde, creador del software LIFE SIM, por brindarme las facilidades en el uso del software, para la estimación del metano.

Y para finalizar, agradezco a mis amigos quienes me apoyaron durante el proceso de ejecución, además de mis compañeros en cada uno de los niveles de mi carrera profesional, ya que, gracias a su compañerismo y amistad, han aportado en mis ganas de seguir adelante.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
2.1. Los sistemas ganaderos	15
2.2. Cambio climático y gases de efecto invernadero	16
2.3. Producción y emisión de metano por rumiantes.....	17
2.4. Fermentación entérica, estiércol y gas metano (CH ₄).....	18
2.5. Métodos de cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas.....	20
2.6. Emisiones por ganadería lechera y su caracterización económica	25
2.7. Impacto ambiental del gas metano de rumiantes.....	27
2.8. Estrategias nutricionales para reducir la emisión de metano.....	29
2.9. Metano y su mitigación en fincas ganaderas	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1. Zona de estudio.....	33
3.2. Época de evaluación	36
3.3. Cálculo del tamaño muestral	36
3.4. Materiales y equipos	37
3.5. Metodología para el desarrollo del estudio.....	38
3.5.1. Caracterizar y tipificar los sistemas pastorales en base al nivel de degradación de sus pasturas, en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado	39
3.5.2. Evaluar los pastos (disponibilidad, proteína bruta y digestibilidad) de los sistemas pastorales identificados, después de la tipificación.....	44
3.5.3. Estimar las emisiones de metano a través del life-sim de cada sistema identificado.....	49
3.5.4. Proponer estrategias de mejoras en cada sistema identificado	51
3.6. Análisis estadísticos.....	51

3.6.1. Para el diagnóstico de sistema ganaderos.....	51
3.6.2. Para determinar diferencias entre tipos de sistemas	52
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1. Caracterización y tipificación de los sistemas ganaderos en base a su nivel de degradación de sus pasturas en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado	53
4.1.1. Tipificación de los sistemas ganaderos	53
4.1.2. Caracterización de los sistemas ganaderos.....	55
4.2. Evaluación de los pastos de los sistemas ganaderos identificados después de la tipificación	61
4.2.1. Selección de sistema ganaderos de los grupos identificados.....	61
4.2.2. Características de los sistemas ganaderos seleccionadas	61
4.2.3. Evaluación de biomasa de los pastos.....	74
4.2.4. Análisis químico proximal, FDA y digestibilidad de los pastos por sistema ganadero.....	77
4.2.5. Análisis físico y químico del suelo.....	80
4.2.6. Variables climáticas.....	84
4.3. Estimación de las emisiones de metano a través del LIFE-SIM de cada sistema identificado	85
4.3.1. Variables necesarias para la utilización del software de estimación de metano LIFE-SIM	85
4.3.2. Estimación de producción de metano en los cuatro escenarios (sistemas ganaderos)	89
4.4. Propuestas técnicas para la reducción de producción de metano	97
VI. CONCLUSIONES.....	100
VII. RECOMENDACIONES.....	101
VIII. BIBLIOGRAFÍA	102
IX. ANEXOS.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Estimación de las principales fuentes naturales y antropogénicas de metano a nivel global (millones de toneladas por año)	28
2. Fincas ganaderas en los distritos de la Provincia de Leoncio Prado	36
3. Tabla del Nivel de degradación en pasturas naturales.....	41
4. Tabla de niveles de degradación en pasturas mejoradas	42
5. Medias de los índices de degradación de las pasturas evaluadas	55
6. Análisis de varianza entre los grupos conformados según los índices de degradación para los dos tipos de pasturas.....	57
7. Características evaluadas de las pasturas naturales en los grupos.....	57
8. Características evaluadas de las pasturas mejoradas en los grupos.....	59
9. Sistemas ganaderos seleccionadas por grupo conformado.....	61
10. Algunas características de los sistemas ganaderos seleccionadas de cada grupo tipificado.....	62
11. Características dasométricas de las especies arbóreas del sistema ganadero 1	66
12. Características dasométricas de la guayaba de la Sistema ganadero 2.....	68
13. Especies arbustivas encontradas en la cerca viva de la Sistema ganadero 3	70
14. Características dasométricas de los parches de la Sistema ganadero 3	72
15. Pesos medios de biomasa (g/m^2 y kg/ha) y porcentaje medio de materia seca (%MS) de pasto en los sistemas ganaderos evaluadas en cuatro periodos (media \pm error estándar).....	74
16. Análisis proximal, FDA y digestibilidad de los pastos por sistema ganadero evaluada.....	77
17. Temperatura de suelo a dos profundidades y compactación del suelo.....	80
18. Valores de los tenores de macronutrientes en los cuatro suelos correspondientes a los sistemas de producción ganadera (media \pm error estándar).....	82
19. Variables climáticas registradas desde el 2018 al 2019	84
20. Variables climáticas para la estimación de metano	85
21. Biomasa (Kg MS/ha) durante el año para las cuatro sistema ganaderos.....	86

22. Proteína cruda (%) de los pastos extrapolados para el año en las cuatro sistema ganaderos	88
23. Digestibilidad (%) de los pastos extrapolados para el año en las cuatro sistema ganaderos	89
24. Promedios de ganancia de peso (kg) y producción de metano tanto en litros como por kilogramos (media \pm error estándar)	91
25. Producción media de metano por kilogramo de peso ganado	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación del estudio	34
2. Diagrama del desarrollo metodológico – Elaboración propia	40
3. Construcción y diseño del área de muestreo	45
4. Diseño de parcela con cuatro muestras de evaluación	46
5. Cosecha de pasto sobre el metro cuadrado	46
6. Muestras puestas en la estufa.....	47
7. Geotermómetro (temperatura del suelo) y tensiómetro (nivel de resistencia a la penetración vertical del suelo utilizados	49
8. Software LIFE-SIM.....	50
9. Dendograma de agrupamiento de las 68 fincas evaluadas con base a los niveles de degradación de sus pasturas.....	53
10. Porcentaje de fincas en los grupos conformados.....	54
11. Nivel de degradación, según los índices de degradación.	56
12. Mapa de ubicación de la Finca 1	64
13. Características de la Finca 1. Pasturas mejoradas con degradación leve, con árboles dispersos en potreros (capirona) y cerco vivo.....	65
14. Mapa de ubicación de la Finca 2.	66
15. Características de la Finca 2. Pasturas naturales con degradación leve-severa, árboles dispersos (guayaba) y sin cercas vivas.	67
16. Evaluación de las especies arbóreas de la Finca 2.....	68
17. Mapa de ubicación de la Finca 3.	69
18. Características de la Finca 3. Pasturas naturales con degradación severa y con cercas vivas.....	69
19. Imágenes de los tres parches de evaluación	71
20. Mapa de ubicación de la Finca 4	72
21. Características de la Finca 4. Pasturas naturales con degradación muy severa.....	73
22. Disponibilidad de biomasa (kg/ha) de pasto en las fincas evaluadas.	76
23. Comparación de la disponibilidad de biomasa (kg/ha) por fincas en los cuatro periodos de evaluación.....	77

24. Proteína, FDA y digestibilidad de los pastos por tipo de finca	79
25. Nivel de compactación de los suelos en los cuatro sistemas de producción ganadera.....	81
26. Comportamiento de la precipitaciones (mm) mensuales durante el 2019 y el periodo de evaluación.....	84
27. Modelo de tendencia para biomasa	88
28. Producción de metano (litros/año) por cada Finca	90
29. Producción de metano (litro/año) por tipo de finca.....	91
30. Ganancia de peso por finca.....	92
31. Dependencia entre el peso vivo ganado y la producción de metano	93
32. Metano producido (kg) por kilo de ganancia de peso logrado por animal en cuatro sistemas	94
33. Regresión lineal de emisión de metano (kg) por kilo de ganancia de peso.....	95

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en sistemas de producción ganadera en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, con el objetivo de estimar las emisiones de metano mediante un método indirecto aplicando el programa LIFE-SIM (León-Velarde et al. 2006). Se muestreo a 68 sistemas ganaderos para determinar el nivel de degradación de sus pasturas. Mediante análisis de conglomerados (estadística multivariada) se formó cuatro grupos, por escalas de degradación, entre leve, del grupo 1 (19%); leve-severa, del grupo 2 (13%); severa, del grupo 3 (44%) y muy severa, del grupo 4 (24%). Seleccionando una finca por grupo, se evaluó la disponibilidad de biomasa del pasto en cuatro meses. En laboratorio se determinó el Análisis proximal, la proteína cruda, fibra, ceniza, extracto etéreo y fibra detergente ácida; se estimó la digestibilidad con la fórmula de aproximación (Van Soest 1994). Determinado que la finca 1, del grupo 1 (degradación leve), produce mayor biomasa (kg/MS/ha/año), y mayor contenido proteico (10,32), que el resto de fincas. Para estimar el metano se consideró la hipótesis de un torete de 300 kilos, variables climatológicas, productivas y de calidad de pasto, para cada finca. Los resultados muestran que la finca 1 (degradación leve) de sus pasturas produce 0,32 kg CH₄/kg logrado; mientras que la finca 4 (degradación muy severa) produce 0,45 kgCH₄/kilo logrado. Demostrando que las emisiones de metano están en función del nivel de degradación de sus pasturas. Se recomendaron estrategias técnicas para reducir las emisiones de metano en las cuatro fincas.

Palabras clave: Pasturas degradadas, emisión de metano.

ABSTRACT

The present research work was carried out within the systems for livestock production in the four districts of the Leoncio Prado province, Huánuco region, Peru, with the objective of estimating the methane emissions through the use of the indirect method, by applying the LIFE-SIM program (León-Velarde et al. 2006). Samples were taken from sixty eight livestock systems in order to determine the degradation level of their pastures. Through the analysis of conglomerates (multivariate statistic), four groups were created based on the degradation scale: group 1 was “slight: (19%), group 2 was “slight-severe” (13%), group 3 was “severe” (44%), and group 4 was “very severe” (24%). One farm per group was selected and the availability of the biomass in the grass was evaluated for four months. In the laboratory the proximal analysis, raw protein, ash, ethereal extract, and acid detergent fiber were determined; the digestibility was estimated using the approximation formula (Van Soest 1994). It was determined that farm 1 from group 1 (slight degradation) produced greater biomass (kg/MS/ac/year) and a greater protein content (10.32), than the rest of the farms. In order to estimate the methane, the hypothesis was considered to be a 300 kilogram bull, with the variables being the climate, production, and quality of the grass for each farm. The results show that the pastures from farm 1 (slight degradation) produce 0.32 kg of CH₄/kg achieved; while farm 4 (very severe degradation) produced 0.45 kg of CH₄/kilo achieved. This demonstrates that the methane emissions are a function of the level of degradation of the pastures. Technical strategies were recommended to reduce the methane emissions of the four farms.

Keywords: degraded pastures, methane emission

I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es un problema mundial, que actualmente se reconoce que es debido a la presencia de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, que elevan la temperatura del ambiente, perturbando las condiciones adecuadas para la sostenibilidad de la vida en el planeta. Entre los principales gases de efecto invernadero destacan el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y el clorofluorocarbono.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 2007, FAO 2009), el sector ganadero genera más gases de efecto invernadero por ser responsable del 18% de las emisiones de gases de efecto invernadero medidos en equivalentes de CO₂ (CO₂e), cuyo porcentaje es mayor a los generados por los medios de transporte.

Asimismo, el sector pecuario produce el 9% de las emisiones de CO₂ de origen antropógeno, la mayor parte de las cuales se deben a los cambios en el uso de la tierra (principalmente la deforestación) causados por la expansión de los pastizales y la superficie destinada a la producción de forrajes. También el sector ganadero emite el 37% del metano (CH₄) antropógeno, el cual proviene en su mayor parte del proceso de fermentación ocurrido en la digestión entérica de los rumiantes y tiene un potencial de calentamiento global (PCG) 23 veces mayor que el del CO₂, y el 65% del óxido nitroso antropógeno, cuyo PCG es 296 veces mayor que el del CO₂, en su mayor parte proveniente del estiércol. Los trabajos de la FAO (2001) demostró que la calidad de las pasturas incide en la producción de metano.

El panorama del sector ganadero en el ámbito de estudio (cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado) ha demostrado tener los sistemas ganaderos con bajos indicadores productivos, debido a la baja calidad de los pastos, siendo un buen porcentaje de ellos, de origen natural. La cantidad de producción de metano está directamente relacionada con la calidad de las pasturas (FAO 2001), por ende, la producción de metano debe ser alta en la zona de estudio, contribuyendo al problema de mayor emisión de gases de efecto invernadero.

Las mejoras de la calidad de las pasturas tienden a reducir las emisiones de metano, por lo que se hace necesario conocer el estado actual de las pasturas (en cuanto a su contenido de proteína y digestibilidad) para estimar a través de modelos matemáticos como el LIFE-SIM la cantidad de metano emitido de los distintos escenarios de las condiciones de las pasturas en los cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado, para posterior a ello proponer estrategias de mitigación de gases de metano en los distintos escenarios ganaderos.

De todo lo expuesto, se considera válido la pregunta: ¿Cuánto serán las emisiones de metano de los sistemas pastorales, basados en sus sistemas de uso, en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado? La hipótesis que plantea el trabajo de investigación es que, a mayor degradación del sistema de pasturas, mayor será la producción de metano.

Para lograr dicha investigación se propone los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL:

Estimar la producción de metano en cuatro sistemas pastorales en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar y tipificar los sistemas pastorales en base al nivel de degradación de sus pasturas, en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado.
2. Evaluar los pastos (disponibilidad, proteína bruta y digestibilidad) de los sistemas pastorales identificados, después de la tipificación.
3. Estimar las emisiones de metano a través del LIFE-SIM de cada sistema identificado.
4. Proponer estrategias de mejoras en cada sistema identificado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Los sistemas ganaderos

La cría de ganado vacuno es una actividad avanzada y extendida en la mayor parte del país, siendo considerada una actividad socioeconómica de gran envergadura en el desarrollo del campo, fue y continúa siendo fuertemente cuestionada a causa de su desempeño en la producción y su impacto en el medio ambiente (Primavesi et al. 2004). No obstante, si se pretende conocer sus verdaderos problemas, es necesario valorar algunas características particulares como la presión que se ejerce sobre los recursos naturales y el proceso de la ganaderización, la escasa visión empresarial, el bajo rendimiento productivo y económico, la desconfiada acción del gremio, el escaso desarrollo y organización de la comercialización.

Esta actividad, se caracteriza por generar empleo e impulsar el desarrollo social, contribuyendo representativamente al Producto Interno Bruto (PIB) nacional y agropecuario, sin embargo, necesita políticas que sean viables y asertivas para la agricultura, que estén orientadas a mejorar el buen manejo ganadero, en el marco de la sostenibilidad económica y ambiental (FAO 2015). Del mismo modo, esta actividad se distingue por un utilizar un método experimental en un ambiente tecnológico, la administración empresarial, la gestión ambiental, la valoración económica y la cadena con los consumidores y otras entidades del sector productivo (FAO 2009). Esto no permite promover los cambios que necesita el sistema encargado a la ganadería para poder ser competente y afrontar las relaciones actuales y posteriores en el ámbito nacional e internacional.

El ámbito ganadero debe explotar sus cualidades: climáticas, edáficas, pastos, ganados, ubicación geográfica, recursos humanos, de este modo tener un menor costo de producción, que satisface la demanda interna sustituyendo las importaciones, procesando y comercializando al exterior del país para obtener dinero y mejora de condiciones de vida de los actores vinculados a la actividad ganadera. La importancia de esta actividad es meritoria por ser la principal actividad que mayor ocupación de tierras realiza (FAO 2007).

En las regiones de la costa, sierra y selva del Perú existe una actividad ganadera, que establece las diferentes características y sistemas productivos en cada tipo de crianza. En consecuencia, en la producción ganadera debe ser desarrollada en función a los potenciales que tiene cada territorio regional y al empleo de tecnologías de crianza, y de este modo, tener un sector ganadero competitivo en una economía regional, nacional y global.

En la región de la selva existen 768,800 cabezas de ganado, según el último censo nacional agropecuario (INEI 2012a), correspondiendo principalmente a razas cruzadas con cebú. Esta población de ganado se encuentra en 458,882 fincas agropecuarias distribuidas en el sector rural. Según el Plan Ganadero 2017-2021, propuesto por el Ministerio de Agricultura y Riego (2017), la ganadería se desarrolla bajo tres modalidades: la ganadería comercial (ubicada principalmente en la costa), la ganadería pequeña y mediana (ubicada en la costa, sierra y selva) y la ganadería con producción de subsistencia (Ubicada en la costa, sierra y selva).

2.2. Cambio climático y gases de efecto invernadero

El cambio climático (CC), es la variación del clima a nivel mundial, originado por causas naturales y antropogénicas. Todos los países se ven afectados del mismo modo por este fenómeno, viéndose reflejados en la modificación de parámetros climáticos (precipitación y temperatura), aumento del nivel del mar y en sucesos climáticos críticos como huracanes, tornados, sequías, entre otros fenómenos (IPCC 2001).

La prueba de que el cambio climático es contundente, según el quinto informe del panel intergubernamental sobre cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés) manifiesta el incremento de 2 °C de la temperatura global en el siglo actual, incluso en un entorno positivo de bajas emisiones, manifestando claramente que este aumento es irrevocable y como única solución frente a esto es la adaptación y mitigación (IPCC 2014a).

La consecuencia de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero en el calentamiento global es otra evidencia indiscutible; se estima que las concentraciones de CO₂ han aumentado en un 40% desde la era preindustrial (IPCC 2014b), esto sin duda va de la mano con el crecimiento económico global, cuyo PIB mundial se incrementó en un 68.5% entre 1995 y 2014 (BANCO MUNDIAL 2016).

El protocolo de Kyoto de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) indica que son seis gases de efecto invernadero que en su mayoría están favoreciendo al calentamiento global: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆ (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, respectivamente) según (CMNUCC 2015). De estos gases, el gas con mayor aporte al cambio climático es el CO₂ (IPCC 1997); en el 2013 este gas alcanzó a 400 ppm en casi los 800 mil años últimos por primera vez (IPCC 2014b). En todas las naciones del mundo estos gases son difundidos por diferentes entes económico-productivos, como: agricultura, silvicultura, energía, industria y otros usos de la tierra (AFOLU por sus siglas en inglés) y desechos (IPCC 2006).

Durante millones de años, el efecto invernadero (fenómeno natural), al mantener una temperatura adecuada (15° C) permitió la vida dentro del planeta; sin embargo, después de que el hombre usara como medios de producción maquinarias demandantes de combustibles fósiles, se percibió considerablemente un incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Landa et al. 2010), originando que en la actualidad se define como calentamiento global. La principal fuente de energía del planeta es el sol, cuya radiación atraviesa la atmósfera en gran magnitud y alcanza la superficie de la tierra, de este modo permite una regulación climática (Benavides y León 2007); la tierra capta parte de esta energía y otra parte se refleja al espacio, donde las concentraciones de las moléculas de los gases de efecto invernadero concentran una cantidad de energía importante y la regresan a la superficie de la tierra causando el efecto invernadero, y a la vez el cambio climático.

2.3. Producción y emisión de metano por rumiantes

El alimento ingerido que ingresa hacia el aparato digestivo de los rumiantes no se encuentra disponible directamente para ser usado por el animal. Este debe sufrir en primera instancia una acción mecánica que se produce por la masticación, de esta manera se reducirá el tamaño de la partícula, sin embargo, esto continuará siendo insuficiente para que los nutrientes puedan ser absorbidos. Posteriormente, el alimento experimenta una transformación adicional en el rumen por actividad de la rumia y por la acción de los microorganismos ruminales, los que ayudan a fermentar cierta parte de los componentes del alimento ingerido por el animal (pectinas, almidón, celulosa y hemicelulosa) (De Blas et al. 2008).

Mediante este proceso los microorganismos adquieren energía necesaria para sus actividades vitales, además, el animal tiene acceso a una parte del alimento (ácidos grasos volátiles, AGV) que siendo de otro modo no podría ser digestible. La emisión de metano (CH_4) también encuentra dependencia en los factores intrínsecos del animal (especie, edad y peso), asimismo en los factores extrínsecos que se relacionan con el alimento (composición e ingestión). Esto se debe a la presencia de rumen y al tipo de aparato digestivo, como también a la existencia de las poblaciones de bacterias y protozoos, que estos animales emiten de manera significativa mayores cantidades de CH_4 durante el proceso de digestión que aquellos que no son considerados no rumiantes o monogástricos (Crutzen et al. 1986, Jensen 1996, Moss et al. 2000). Las menores tasas de conversión de CH_4 se presenta en los animales más jóvenes en comparación de los animales adultos, esto se debe principalmente a la menos cantidad y actividad de microorganismos ruminales que se encargan de la fermentación.

Por otra parte, la eructación del CH_4 inicia en animales jóvenes habitualmente cuando estos tienen un mes de nacido (Anderson et al. 1987). Respecto a los factores que se relacionan con el alimento, la producción de CH_4 obedece a la cantidad y calidad del alimento. Usualmente, la cantidad de CH_4 que se libera se acrecienta con la cantidad de alimento que se ingiere, no obstante, la tasa de producción por Kg. de alimento que se consume puede aminorar al incrementarse el nivel de alimentación, (Blaxter y Clapperton 1965, Aguilera y Prieto 1991). Esta variación se debe esencialmente que al incrementar la ingestión de materia seca se apresura el traslado del alimento por el sistema digestivo, reduciendo de este modo el tiempo disponible que se tiene para la fermentación en el rumen (Hindrichsen et al. 2006). La proporción de energía bruta (EB) que se disipa en forma de CH_4 se ve más afectada por la composición que por la cantidad del alimento.

2.4. Fermentación entérica, estiércol y gas metano (CH_4)

La fermentación entérica es un proceso fisiológico que se le atribuye a los rumiantes. Por lo que, se expulsa CH_4 , que proviene de la fermentación ruminal producida de un proceso de digestión anaerobia por microorganismo metanogénicos, para descomponer o degradar los carbohidratos de la dieta en moléculas más simples que pueden ser digeridos por los animales (Carmona et al. 2005). Del total de emisiones de CO_2 que se derivan de los distintos GEI en la ganadería, el 44% se otorga al CH_4 ; específicamente en el ganado vacuno, esta

proporción se eleva al 65%. Debido a que la fermentación entérica constituye el origen de una significativa emisión en animales rumiantes (Gerber et al. 2013).

Desde un inicio se consideraba que las emisiones de CH₄ que se producían a través de la fermentación entérica eran excretadas vía rectal; con tal afirmación, se incitó a realizar estudios en busca de la cuantificación de la expulsión del metano en el bovino, realizando cortes en la cavidad izquierda del ganado con la finalidad de concentrar el gas en la parte lateral y poder cuantificarlo (Berra et al. 2007, Berra et al. 2009). Pasado el tiempo, diferentes estudios confirmaron que el método era parcial y demostraron que las emisiones de CH₄ que provienen de la fermentación entérica eran excretados mediante eructos por el esófago (Berra et al. (2012), Muñoz et al. (2012) realizando comparaciones con metodologías para cuantificar las emisiones de metano con trazadores de hexafluoruro de azufre (SF₆) y cámaras de respiración en bovinos productores de leche se concluyó que el 3% del metano total que se emite del vacuno procede del recto y lo restante expulsado por la boca y también por la nariz a través de eructos.

La literatura coincide al afirmar que las emisiones de CH₄ derivadas de la fermentación entérica se diferencian del alimento consumido, afirmando que mientras más alto sea el contenido de fibra más alto será la emisión de este gas (Pinares-Patiño 2015). Un nuevo descubrimiento significativo es la variación que existe entre las expulsiones de CH₄ entre la alimentación provenientes de plantas C3 y C4. Los que se alimentan con plantas C3 expulsan menor cantidad CH₄ por unidad de energía digestible consumida que aquellos animales que se alimentan con plantas C4; esto se les atribuye a las diferencias anatómo-fisiológicas de estas plantas, ya que las plantas C3 presentan en su composición más tejidos de alta digestibilidad en comparación a las C4 (Vargas et al. 2012).

Asimismo, se menciona que la expulsión del CH₄ durante el proceso de fermentación entérica de igual forma se convierte en disminución energética; lo que, a su vez, corresponde un déficit económico. Estudios han manifestado que un 6,5% aproximadamente de la energía consumida producto de la alimentación del ganado vacuno se desperdicia en la metanogénesis causada por microorganismos en el rumen (Johnson y Johnson 1995); no obstante, este cálculo porcentual podría tener una variación según el alimento consumido entre 2-12% (Beauchemin et al. 2008, Deramus et al. 2003).

El estiércol es otra fuente de emisión ganadera, se calcula que el 10% del total de expulsiones de la actividad ganadera provienen de dicha fuente, de este aproximadamente un 1,2% se le atribuye al CH₄ del estiércol (Gerber et al. 2013). Sin embargo, dependiendo del manejo que se aplica a cada finca ganadera esta cifra puede variar. En las fincas ganaderas, al estiércol se le puede atribuir varios destinos: algunos prefieren colocarlo en los pastos con fines de abonamiento o se pueden colocar de manera directa por los animales en las pasturas y otros lo almacenan (líquido o sólido) (IPCC 1997, IPCC 2006).

Este proceso de fermentación de la dieta inicia al ingerir los alimentos posteriormente con la fermentación entérica y sigue con la expulsión de desechos de los rumiantes (y otros animales monogástricos). En las heces se almacenan microorganismos metanogénicos que del mismo modo que en la fermentación entérica continúan con la descomposición de la celulosa y de esta forma siguen emitiendo CH₄. Las emisiones de CH₄ en las heces están sujetos principalmente a su manejo, ya que la producción de CH₄ se realiza en condiciones estrictamente anaeróbicas (Hristov et al. 2013).

2.5. Métodos de cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas

El principio para diseñar y desarrollar estrategias de mitigación es medir las emisiones de GEI de las fincas ganaderas. Las metodologías para cuantificar o estimar las emisiones de GEI se pueden dividir en directos e indirectos. Dentro de los directos, existen muchas técnicas que se han implementado con la intención de medir las emisiones in vitro o in situ (Carmona et al. 2005), sin embargo, los métodos indirectos se desarrollan con información relacionada al número de animales, el peso y las características de su alimentación; que nos ayuda a pronosticar la producción de metano por cada rumiante. Por consiguiente, ambas metodologías serán descritas.

2.5.1. Cuantificación de las emisiones de GEI a través de métodos directos

Referente al CH₄ producido por fermentación entérica, consta de una serie de técnicas usadas para medir las emisiones. Una de estas técnicas es la cámara de respiración. Este método considera diseños que van desde cámaras cerradas, capuchas ventiladas o cajas en la cabeza y máscaras faciales, de todas estas metodologías su principal función es conocer o determinar la diferencia entre las concentraciones del aire que se inhala y

exhala. Sin embargo, este procedimiento es costoso por lo que tiene una gran desventaja y también limita los movimientos naturales del animal, por lo que aumenta el dilema en lo que respecta a la precisión del cálculo de las emisiones (Carmona et al. 2005).

Existe otra técnica directa de cuantificación de las emisiones en las fincas ganaderas, la cámara metabólica, que permite determinar la producción de metano in vitro, mediante simulaciones de las condiciones del rumen y la fermentación entérica. En este método se inocula una determinada dieta con fluido ruminal en condiciones de temperaturas controladas (39° C) y en un determinado tiempo (24, 48, 72, 96 o 144 horas) donde se extrae el gas y con la ayuda de un cromatógrafo de gases se conoce la concentración de este (Moura et al. 2015).

El uso de hexafluoruro de azufre (SF₆), es una técnica de estimación del metano que se produce durante la fermentación entérica, donde se coloca un gas inerte en forma de bolo ruminal, el cual tiene una importante ventaja, que es el no limitar la conducta de pastoreo normal del animal (Deramus et al. 2003). Esta técnica radica en la instalación de tubos capilares en los que las muestras de gas eructado se obtienen constantemente a través de un tubo capilar, que se conecta a un colector colocado en el cuello del animal. Posteriormente, después de la recolección de las muestras, el colector es presurizado con nitrógeno y con el apoyo de un cromatógrafo de gases se determina el metano y el SF₆ (Moura et al. 2015, Carmona et al. 2005).

Existe otra novedosa metodología que fue desarrollada en Argentina por el INTA Castelar para calcular en tiempo real el metano emitido por las vacas, en donde se coloca una tubuladora intranasal en el que circula el gas producido hacia un aparato que se conecta a un conjunto de sensores que van midiendo el volumen y concentración de metano que circula, los que se acoplan a un sistema de registro conformado por un módem celular, con el apoyo de un chip de teléfono se puede transmitir el metano registrado a ordenadores en el momento real, y se puede visualizar en cualquier momento o lugar. Este método, pese a ser costoso, minimiza el riesgo que se puede ocasionar por el manejo operario, como sucede en técnicas como el SF₆ (Berra et al. 2012).

Recientemente existe otra técnica que es el láser detector de metano (LDM), basado en la absorción espectroscópica de rayos infrarrojos. En el que la concentración

de gas se calcula de acuerdo a la porción de luz infrarroja absorbida por el gas. Esta técnica es muy ventajosa ya que presenta sensibilidad a las moléculas de metano; lo que minimiza la imprecisión en ambientes abiertos donde existen muchos otros gases en la atmósfera; también, mediante el LDM es viable determinar la concentración de gas emitida en tiempo real. No obstante, este método viene siendo usado usualmente en un ambiente estabulado con vacunos lecheros, teniendo como importante desventaja una escasa exactitud en un ambiente de pastoreo real, donde los parámetros ambientales y los ciclos de respiración de los animales pueden ser influenciados de manera negativa en la medición del gas (Chagunda 2013).

La técnica usualmente utilizada para medir las emisiones de N₂O en estiércol (bosta y orina) en fincas ganadera son las cámaras de medición estáticas de flujo cerrado. Estas tienen una plataforma y un tapón circular cuyas medidas de altura y diámetro dependen de condiciones de humedad y temperatura. A unos 10 cm. de la superficie del suelo se inserta la base, sobre la que se conecta la tapa de unos 40 cm. de diámetro y 25 cm de altura. El gas emitido será muestreado diariamente en un período de tiempo determinado (4 semanas, dos veces al día) con el uso de jeringas (10ml) que se implantan en una válvula de la tapa de la cámara, donde el contenido (gas) se traslada en viales al vacío para ser analizados con un cromatógrafo de gases posteriormente (Vargas et al. 2012).

2.5.2. Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero a través de métodos indirectos

Las ecuaciones o modelos de predicción de emisiones son usados como métodos indirectos para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para la estimación de metano, se desarrollaron modelos de predicción donde se consideran las características de la alimentación diaria del animal. Las técnicas mayormente utilizadas, han sido publicadas por Blaxter y Claperton (1965). Donde la digestibilidad, fibra detergente neutro, materia seca y porcentaje de proteína cruda son las características de la dieta comúnmente usadas en la predicción de las emisiones de metano (Carmona et al. 2005).

Las ecuaciones que se han desarrollado para la predicción de las emisiones de metano y óxido nitroso del estiércol utilizan características como: cantidad de sólidos volátiles en las heces (Mangino et al. 2001), sistema de manejo del estiércol (Külling et al.

2003), tasa de excreción de nitrógeno, fracción de conversión de nitrógeno (IPCC 2006) y condiciones ambientales como la temperatura (Dustan 2002).

Hoy en día existe una serie de protocolos, metodologías y herramientas para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas y en otros ámbitos productivos, esto se debe a la disponibilidad de ecuaciones de predicción de emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, el Livestock Project Protocol (de Climate Action Reserve-livestock en EE. UU.), que fue desarrollado mediante un proceso de mejoras continuas, siendo la versión última el 4,0 del 23 Julio del 2016. Donde facilita una guía para el cálculo, monitoreo, reporte y verificación de las emisiones de gases de efecto invernadero que se asocian al manejo del estiércol en ranchos lecheros y porcinos (CAR 2016).

Otra técnica usada para cuantificar gases de efecto invernadero en fincas ganaderas fue desarrollada en Australia por Greenhouse in agriculture. Esta se basa en una serie de herramientas (hojas de cálculo) que han sido creadas con el objetivo de proporcionar técnicas de investigación en emisiones de vacas, ovejas y cereales; y de esta manera desarrollar y comunicar adecuadas alternativas para reducir el metano y óxido nitroso en la agricultura (Greenhouse in Agricultura 2016).

Del mismo modo, existe un protocolo que no es propio de la agricultura, es el Greenhouse Gas Protocol (GHP), establecido por el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council on Sustainable Development (WBCSD); este constituye un estándar global donde se mide, administra y reporta las emisiones de gases de efecto invernadero. El Greenhouse Gas Protocol (GHP) se encuentra disponible para diferentes empresas, organizaciones y gobiernos que quieran conservar inventarios de gases de efecto invernadero actualizados y de esta manera ser instituciones responsables ambientalmente. La Organización Internacional de Normalización (ISO) es una de las tantas organizaciones que optan por este protocolo para su norma ISO 14064 (WRI 2016); al mismo tiempo, considera una serie de requisitos internacionales de calidad de los datos de los inventarios de gases de efecto invernadero que también se reflejan en las directrices del IPCC (FAO 2015).

En los inventarios de emisiones por los gobiernos que conforman la CMNUCC, las directrices que son usualmente empleadas, son las del IPCC (1997 y 2006), estas fueron elaboradas teniendo como fundamento ponerlo a disposición de los países que se

encuentran conformándolo, estas son técnicas que estiman indirectamente las emisiones de los distintos niveles productivos, empleando ecuaciones de predicción.

Hoy en día es preciso mencionar que son muchos los avances que se han logrado en el mundo con respecto al desarrollo de herramientas para cuantificar o inventariar los gases de efecto invernadero. No obstante, en Latinoamérica y el Caribe todavía no se desarrollaron herramientas que sean las indicadas a las situaciones tropicales de cada región, sin embargo, hay países que ya están dando sus primeros pasos. Por ejemplo, el Instituto Nacional de Transferencia y Tecnología Agropecuaria (INTA) de Costa Rica, produjo un modelo que admite efectuar un balance de gases de efecto invernadero en ganaderías establecidas en las directrices del IPCC; otro ejemplo, es el que en la actualidad desarrolla el Programa de Manejo de la Ganadería y el Medio Ambiente (GAMMA) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) bajo el marco del proyecto FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria), que su finalidad es poner a disposición de empresas ganaderas del país una herramienta para calcular gases de efecto invernadero que más allá de cuantificar estos gases permita realizar comparaciones gráficas entre fincas ganaderas y tipos de gases emitidos por cada estación del año (Vega 2016).

En el Perú, se aplican estimaciones a través del modelo LIFE-SIM, que permite la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero que contempla la disponibilidad del pasto, la calidad de ella (proteína cruda y digestibilidad), así como las consideraciones climáticas y del hato a evaluar (León-Velarde et al. 2006). El software: Modelos de simulación para las estrategias de alimentación en ganadería, LIFE-SIM se desarrolló dentro de la División de Gestión de Recursos Naturales del Centro Internacional de la Papa (CIP). El objetivo de los modelos es evaluar los efectos de diferentes estrategias de alimentación (escenario) en el rendimiento animal. Por lo tanto, LIFE-SIM se compone de cuatro modelos específicos para animales rumiantes (vacunos de leche, vacunos de carne, búfalos y caprinos) y uno para no rumiantes (porcinos); solo las fórmulas generales para los modelos de rumiantes se describen en este documento. Cada modelo es dinámico y probabilístico y se ejecuta diariamente. En consecuencia, es necesario ejecutar cada estrategia o escenario de alimentación varias veces para obtener la respuesta promedio para un animal dentro de un rebaño o región.

Los componentes de cada modelo incluyen subrutinas específicas para el crecimiento del pasto, la ingestión voluntaria, la disponibilidad de suplementos, los requisitos de nutrientes, la regulación térmica, la producción de leche y carne, la producción de estiércol, las emisiones de metano y un análisis bioeconómico. Las interfaces gráficas para todos los modelos son similares y requieren las mismas entradas. Se incorporaron los parámetros apropiados a las ecuaciones que permiten la evaluación del rendimiento del animal para cada especie considerada (León-Velarde et al. 2006).

2.6. Emisiones por ganadería lechera y su caracterización económica

Gómez y Fernández (2009), efectuaron trabajos con vacas productoras en Perú mediante evaluaciones, utilizando el método descrito por IFCN – Dairy para su identificación, conformada por 3 fases: Identificación de regiones lecheras, identificación de unidades especializadas en producción lechera y selección de las unidades representativas. Los resultados muestran diferencias entre sistemas productivos en lo que respecta a la emisión de metano, dando como resultado que el grupo de animales estabulados generan mayor CH_4 en comparación a los fueron alimentados por pastoreo. No obstante, cuando las vacas que producción de leche se encuentran estabulados generan 0.015 – 0.02 kg metano/kg de leche, generando resultados inferiores de emisión en comparación a aquellos animales que se alimentan por pastoreo, que generan 0.03-0.13 Kg de metano/Kg de leche, siendo considerado de este modo, valores más altos a los animales que se encuentran en pastos naturales. Considerando el total de emisión de CH_4 (animales en producción y recría) con relación a la obtención de leche por animal, mientras que la alimentación de animales en base a pasturas no es tan beneficioso por kilo de leche que los sistemas estabulados. Concluyéndose de este modo que la emisión de elevadas concentraciones de CH_4 se debe en su mayoría a la baja calidad de las pasturas (mayor contenido de fibras y menor contenido de nitrógeno), debido a la existencia de oportunidad con el genotipo actual para aumentar la productividad la cual fue demostrada últimamente.

Ya que en Perú se carece de específicos estudio de caso, se dice que estos son provisionales. La producción de carne, simboliza el mayor impacto económico, que existe en la producción ganadera, seguidamente de la producción de leche, estos son considerados como efectos indirectos (disponibilidad de forraje). Al hacer uso de técnicas adecuadas para mejorar la alimentación del ganado (principalmente de forraje) se estaría incrementando el nivel

productivo del ganado, mejorando de este modo los ingresos económicos y también se reducirían la emisión de metano por unidad de producto generado. Dicho esto, es debido indicar la importancia de manejar mejor las áreas pastoriles en los Andes, ya que proporciona entre algunos se servicios ambientales, la regulación hídrica y beneficios relacionados a una alimentación segura, así como control sobre vulnerabilidad y el riesgo (Bartl et al. 2009).

“Relación entre el consumo de materia seca y la estimación de la emisión de metano en vacunos lecheros diferenciada por sistema de producción y fase de lactancia en la irrigación Majes en Arequipa – Perú” (Vélez et al. 2014), es el estudio realizado en el Perú, donde se determinó que el consumo de Materia Seca fue menos en un sistema mixto y mayor en un sistema intensivo; no obstante, se determinó que existe menor emisión de CH₄ en un sistema intensivo; es por esta razón que, Johnson y Johnson (1995) nos indica que mayores consumos sumados a una alta digestibilidad, presenta menor nivel de energía no aprovechada, debido a bajas producciones de CH₄.

También se reportó que, en los sistemas intensivos, como usan niveles elevados de alimento balanceado en la dieta (con mayor porcentaje de digestibilidad y Materia Seca, en comparación a los forrajes), se produce menor emisión de CH₄, que provienen de las vacas lecheras en producción. De Blas et al. (2008), indican que al existir diferencias en la relación concentrado/forraje dan origen a la reducción del pH del contenido ruminal. Esto vendría a ser la consecuencia de mayor velocidad de fermentación del concentrado y la capacidad tampón reducida asociada con el consumo directo (capacidad tampón de pectina o lignina) o indirecto (mediante la inducción rumial y de la entrada en el rumen de tampón fosfato y bicarbonato salival).

Los cambios en la flora microbiana se deben a la acidificación del contenido ruminal, incluyendo el aumento de la flora amilolítica y la reducción de la densidad de flora celulolítica, reduciéndose la digestión de la fibra, alterándose el tipo de fermentación, formándose mayor cantidad de ácido propiónico y menor de ácido acético. Los ácidos grasos que se producen en la fermentación tienen un resultado directo en el número de H y CH₄ liberados, esto se debe a que, la formación de ácido acético es equivalente a la de H (4 moles de H/mol acético) sin embargo, el ácido propiónico toma en cuenta la captura de H (2 moles de H/mol propiónico). Es decir, el incremento de la proporción del concentrado en la ración con

un descenso considerable de la concentración de H, de bacterias metanogénicas y de la producción de CH₄ vendría a ser lo que resulta finalmente del proceso (Van Soest 1994).

En el sistema intensivo suponen que estos detalles fisiológicos habrían regulado las emisiones de CH₄, confirmando que, en este sistema de alimentación, existe una mejor digestibilidad del alimento, fundamentalmente en lo que a energía se refiere. Para diferenciar la producción de CH₄ entre estos dos sistemas, donde se toma en cuenta las fases, se debe considerar en primera instancia el efecto fisiológico divergente del consumo por cada fase (Wattiaux 1996), ligado a un uso más eficiente de los nutrientes en el sistema intensivo. En cuanto al factor de emisión se observa mayor producción de CH₄ del sistema mixto durante la primera y tercera fase. Igualmente, la producción diaria de CH₄ fue superior el sistema mixto durante la primera y tercera fase. Finalmente, la generación de CH₄ expresada por unidad de MS consumida en el sistema mixto fue superior al intensivo en todas las fases.

2.7. Impacto ambiental del gas metano de rumiantes

La producción agraria y pecuaria aportan consideradamente a la atmósfera emisiones de: CH₄, CO₂ y N₂O que son producidos por el hombre. Al generarse más concentraciones de estos gases se induce calor en la superficie terrestre y se destruye de manera progresiva la capa de ozono en la estratosfera (Primavesi et al. 2004). El gas con mayor consideración en el efecto invernadero y que hoy en día aporta de manera exponencial al calentamiento global, es el CO₂.

En la actualidad la concentración de CH₄ es menor a las concentraciones de CO₂, no obstante, el que ha sido mencionado en primera instancia, viene creciendo de manera rápida y del mismo modo, contamina 21-30 veces más comparado con el CO₂, tomando en cuenta que el metano puede tener predominancia con el pasar del tiempo (McCaughey et al. 1997, McCaughey et al. 1999). Las concentraciones de CH₄ y CO₂ dentro de la atmósfera en el último periodo de tiempo han ido cambiando severamente teniendo como resultado un crecimiento exponencial (Preston et al. 1989).

Debido a las actividades provocadas por el hombre y a los fenómenos naturales, casi (500 millones de toneladas métricas/año) de CH₄ entran a la atmósfera. Con estas concentraciones se estima que del 15-17% del calentamiento global sea provocado por el metano. En la actualidad ya se sabe con exactitud de donde y cuáles son las fuentes de emisión

de metano que causan este efecto (Tabla 1), Sin embargo, la incidencia y las proporciones exactas de la mayoría de estas fuentes aún no están claramente definidas. (Johnson y Johnson 1995).

Tabla 1. Estimación de las principales fuentes naturales y antropogénicas de metano a nivel global (millones de toneladas por año)

Natural		Energía/desechos		Agricultura	
Pantanos	115	Gas y petróleo	50	Cultivos de arroz	60
Océanos	15	Carbón mineral	40	Animales domésticos	80
Termitas	20	Carbón vegetal	10	Abonos orgánicos	10
Combustión	10	Rellenos sanitarios	30	Combustión	5
		Aguas residuales	25		
TOTAL	160		155		155

Fuente: Johnson y Johnson (1995)

Kurihara et al. (1999) y Johnson y Johnson (1995), estiman que 58 millones de toneladas/año de emisiones de CH₄ por el ganado bovino, representan el 73% del total de emisiones (80 millones) de la totalidad de especies domesticadas. McCaughey et al. (1997) y Moss et al. (2000) mencionan que los animales domesticados, en especial, el ganado bovino, es el responsable del 15% de la producción de CH₄ global aproximadamente. Otros que tienen una colaboración significativa son los pantanos naturales (21%), los cultivos de arroz (20%), pérdidas por combustión de hidrocarburos (14%), combustión de biomasa (10%) y rellenos sanitarios (7%) (McCaughey et al. 1997).

La producción de gas metano a nivel global es causada por las características de la dietan que recibe el animal, es por esa razón que los países que carecen de limitantes alimentarias para sus ganados, dan a conocer datos de mayor eficiencia energética e datos inferiores de emisiones de gas. Kinsman et al. (1995), confirma lo que se menciona anteriormente al decir que, en aquellos países en proceso de desarrollo, la emisión de CH₄ es

aproximadamente de 55 kg CH₄.año⁻¹ ganado bovino, a diferencia de los reportes de países desarrollados, de 35 kg CH₄.año⁻¹ ganado bovino.

Según González y Rodríguez (1999), estima que la emisión de CH₄ en Colombia, simboliza el 70% de los (GEI) derivado de actividades en el sector pecuario para el 2010. Correspondiendo al 95% de este, a las emisiones digestivas de ganados que producen leche y carne.

La revolución verde aplicada a la ganadería se presentó como revolución ganadera (en la década de los sesenta), esta revolución vino con un incremento sorprendente de la generación de alimentos y también con expectativas positivas que podría representarse como el fin de problemas de hambre a nivel mundial. Pero, a pesar de tener objetivos como la competitividad, adaptarse al mercado a través de precios bajos o la riqueza de las empresas multinacionales que invierten en dicha producción agrícola, no se pudo conseguir el cometido planteado que fue el de eliminar el hambre. Respecto a ello, muchos especialistas concluyen que “En las últimas décadas se realizó una producción agrícola y ganadera, sin tener control alguno, sin alguna visión de los impactos negativos en el ambiente” (Gaudín 2010).

2.8. Estrategias nutricionales para reducir la emisión de metano

Al ganado vacuno se le atribuye aproximadamente 18 – 20% del CH₄ que se produce cada año en el mundo, sin embargo, es una de las pocas fuentes de CH₄ que pueden reducir usando adecuadas estrategias de alimentación (Gibbs et al. 1989)”. El CH₄ deriva de la fermentación anaeróbica de los alimentos en el rumen y podría significar una disminución de 2-12% de la energía bruta consumida (Johnson y Johnson 1995). La mayor parte de los vacunos se someten al consumo de forraje que en la mayor parte de veces es de calidad baja, incrementando la emisión de CH₄ y reduciendo la disponibilidad de proteína microbial y energía (Leng 1993).

De tal modo, numerosos estudios demostraron que los animales al consumir forraje de alta digestible provocan menos CH₄ por unidad de producto terminado (carne, leche, etc.) que aquellos animales que consumen forrajes de poca digestibilidad (Blaxter y Clapperton 1965). “Debido a que aquellos alimentos con tasas rápidas de degradación generan menor cantidad de CH₄ comparadas con los alimentos con tasas mucho más lentas” (McCraab 2002).

La elevada emisión de CH₄ en Perú, que derivan del vacuno provenientes de sistemas de pastores debido a la baja calidad del forraje (pasto natural o nativo), muchas veces es una limitante para aquellos sistemas de producción por algunas condiciones del medio ambiente que no son favorables en algunas partes del país y al inadecuado manejo que se le atribuye (Flórez y Malpartida 1998), el consumo reducido, por la falta de eficiencia en el uso de nutrientes para la producción de carne o leche. De este modo, se planteó algunas técnicas que nos ayudan a mejorar el uso de alimentos y en tal sentido se reduce la emisión de CH₄, estas estrategias son: mejorar la calidad de los pastos (pasturas cultivadas, abonamiento o fertilización, otros) aumento de carbohidratos altamente fermentables (granos, melaza), tratamiento de los forrajes, aplicación de urea y minerales para los alimentos con mala calidad (Ejm. bloques de urea y melaza) y aplicación de insumos que modifiquen el medio del rumen.

2.9. Metano y su mitigación en fincas ganaderas

Algunos estudios se centraron en aspectos como manipular la alimentación, manipular la acción de microorganismos y manipular al animal (Pinares-Patiño 2015), que no se apartan entre ellos y podrían acoplarse para la obtención de un resultado positivos con respecto al esfuerzo de mitigación (Gerber et al. 2013).

En las emisiones del CH₄ la dieta del animal (vacuno) tiene un papel muy importante, demostrándose que la cantidad y el tipo de alimento consumidos por el animal son elementos importantes en la emisión de metano. Blaxter y Clapperton (1965) proponen que, al acrecentar la alimentación del animal, favorece a la reducción de la emisión de metano, como resultado del aumento de la tasa de pasaje, por consiguiente, la reducción de las actividades de las células, que resulta en mayor metano total generado; pero, al mismo tiempo, en menor cantidad de metano emitido por unidad de producto.

En manipular la dieta, también se considera en relación a su calidad y tipología. Los pastos mejorados, se consideran como una iniciativa de mitigación al compararse con especies nativas o naturales, debido a las diferencias nutricionales que estas presentan (proteína, digestibilidad, materia seca, FDN) (Vargas et al. 2012).

Así mismo, las plantas C3 (leguminosas principalmente) demostraron que pueden reducir hasta un 14,3% las emisiones de metano comparadas con las plantas C4. Esto se debe a las diferencias fisiológicas de cada una; las plantas C3 contienen mayor proporción de tejidos

altamente digestibles (carbohidratos solubles) en relación a las C4, lo que se convierte en un mayor pasaje de alimentos, que equivale a menor metanogénesis (Margan et al.1988). Por consiguiente, a las leguminosas se le concede un conjunto de compuestos secundarios como taninos y saponinas que inciden de manera positiva en las emisiones de CH₄ (Pinares-Patiño 2015, Pinares-Patiño et al. 2003); de este modo, considerar especies forrajeras arbóreas y arbustivas C3 puede incurrir de manera significativa en las emisiones de metano y en otros beneficios como mayor producción y disminución de estrés calórico (Gerber et al. 2013).

Otra técnica que se considera en los sistemas de pasturas se encuentra relacionado con la madurez del pasto, esto se debe a que se reduce la calidad con el avance de su estado fenológico, del mismo modo, es primordial la adecuada rotación de los sistemas ganaderos. Deramus et al. (2003), indican que existe reducción de la emisión de metano hasta en 22% con sistemas intensivos, comparados a sistemas de pasturas continuas. Debido al forraje de mayor calidad, la nutrición de los animales es mayor, por lo que las emisiones por unidad de producto son menores (Pinares-Patiño 2015).

El tiempo que le toma al animal en procesar los alimentos (tasa de pasaje) es primordial en la producción de CH₄ y está ligado a la calidad y el tipo de dieta que consumen; es decir, una manera de favorecer con la disminución de la emisión de CH₄, en facilitar una mejor tasa de pasaje realizando actividades del picado y paletizado de las pasturas (Carmona et al. 2005).

Algunas alternativas de suplementar la manipulación alimenticia demuestran ser viables en la disminución de las emisiones de CH₄ son: el utilizar compuestos grasos (lípidos o aceites) y el uso de ionóforos (estimuladores del crecimiento) (GRA y SAI 2013); a pesar de ello, recomendarlas como técnicas de mitigación nos puede llevar a tener efectos externos correspondientes a la seguridad alimentaria en las fincas ganaderas, esto se debe a que muchos concentrados se elaboran a partir de granos que el ser humano también los consume, separadamente de las emisiones que fueron liberados en el proceso de producción. Por otra parte, se designa efectos secundarios a aquellos estimuladores de crecimiento, tal es así que en la Unión Europea se restringió su uso aplicado en animales (Hristov et al. 2013, Carmona et al. 2005).

Existen un sin número de ensayos en bien de encontrar mecanismos que mitiguen las emisiones mediante la manipulación microbiológica rumenal; a pesar de los intentos, se le atribuye muchas acciones por realizar teniendo en consideración la diversidad de microorganismos metanogénicos y el grado de resiliencia del rumen. De este modo, se desarrollaron algunos inhibidores y vacunas de metanogénicos del rumen mediante la inactivación enzimática, desarrollado por Kumar et al. (2013) y Attwood (2014).

Utilizando bacteriófagos (virus) y la defaunación del rumen (eliminación de protozoarios) es otra metodología que se encuentra en desarrollo que intenta disminuir las emisiones mediante la disminución de las poblaciones de ciertos de microorganismos que son responsables de la metanogénesis en el rumen (Pinares-Patiño 2015).

Otra técnica que busca mitigar las emisiones del metano, es de mejorar la genética. “Se ha registrado alta variabilidad entre animales respecto a la producción de CH₄, con similares dietas (Pinares-Patiño et al. 2003), que viene a ser hereditario (Pinares-Patiño et al. 2003) y considera una mitigación viable mediante una mejora genética considerando como característica o rasgo de selección animales que produzcan poco metano”. Otra contribución a nivel genético a la disminución de producción de metano por unidad de producto e integrar técnicas ya descritas, se recomienda incluir en las fincas ganaderas razas con buena producción de carne o de leche, esto implicaría la disminución de la cantidad de hatos por finca sin poner en riesgo su nivel productivo (Pinares-Patiño 2015).

Otro componente que tiene una influencia significativa en las emisiones de metano que provienen de la fermentación entérica, es la salud del vacuno; con la finalidad de contar con un programa sanitario adecuado, el cual favorece de manera significativa a la salud del vacuno y de esta manera se reducen las emisiones por unidad de producto (Hristov et al. 2013), además también favorecer a la productividad del ganado de leche y acorta la edad en la que el ganado de carne será sacrificado, de esta manera también se contrarresta la emisión de CH₄ por unidad de producto (GRA y SAI 2013, Hristov et al. 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Zona de estudio

El presente estudio se realizó:

- Ubicación política: Cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado (José Crespo y Castillo, Santo Domingo de Anda, Pueblo Nuevo y Pucayacu), provincia de Leoncio Prado, Región de Huánuco (Figura 2).
- Ubicación geográfica: Se encuentra ubicada a 8°55'53'' latitud Sur y a 76°07'50'' de longitud oeste.
- Factores climáticos: La temperatura media anual es 23,8 °C, siendo la máxima 30,9°C y 18,6 °C la mínima, mientras que la precipitación pluvial anual varía entre 2 193 a 3 760 mm (SENAMHI 2017).

Se encuentra en una zona considerada como bosque muy húmedo-premontano tropical (bmh-PT). Presenta una altitud de 540 msnm

- Fisiografía: Las características fisiográficas y edáficas del área de influencia han sido determinadas teniendo en consideración el mapa geológico del cuadrángulo de Huánuco (escala 1:100 000) elaborado por el INGEMMET, identificándose la siguiente configuración fisiográfica.

Valles Aluviales: Se caracterizan por su sección transversal en forma de “V”, presentando pendientes moderadas que varían de 0% - 10%, ubicadas en un fondo plano relleno de abundantes depósitos fluviales y aluviales consolidados compuestos por limos, arenas y gravas. Esta formación fisiográfica se presenta en la zona central de Sur a Norte del territorio distrital y significa aproximadamente el 71% del territorio (márgenes del río Huallaga), son los suelos con mayor potencial productivo.

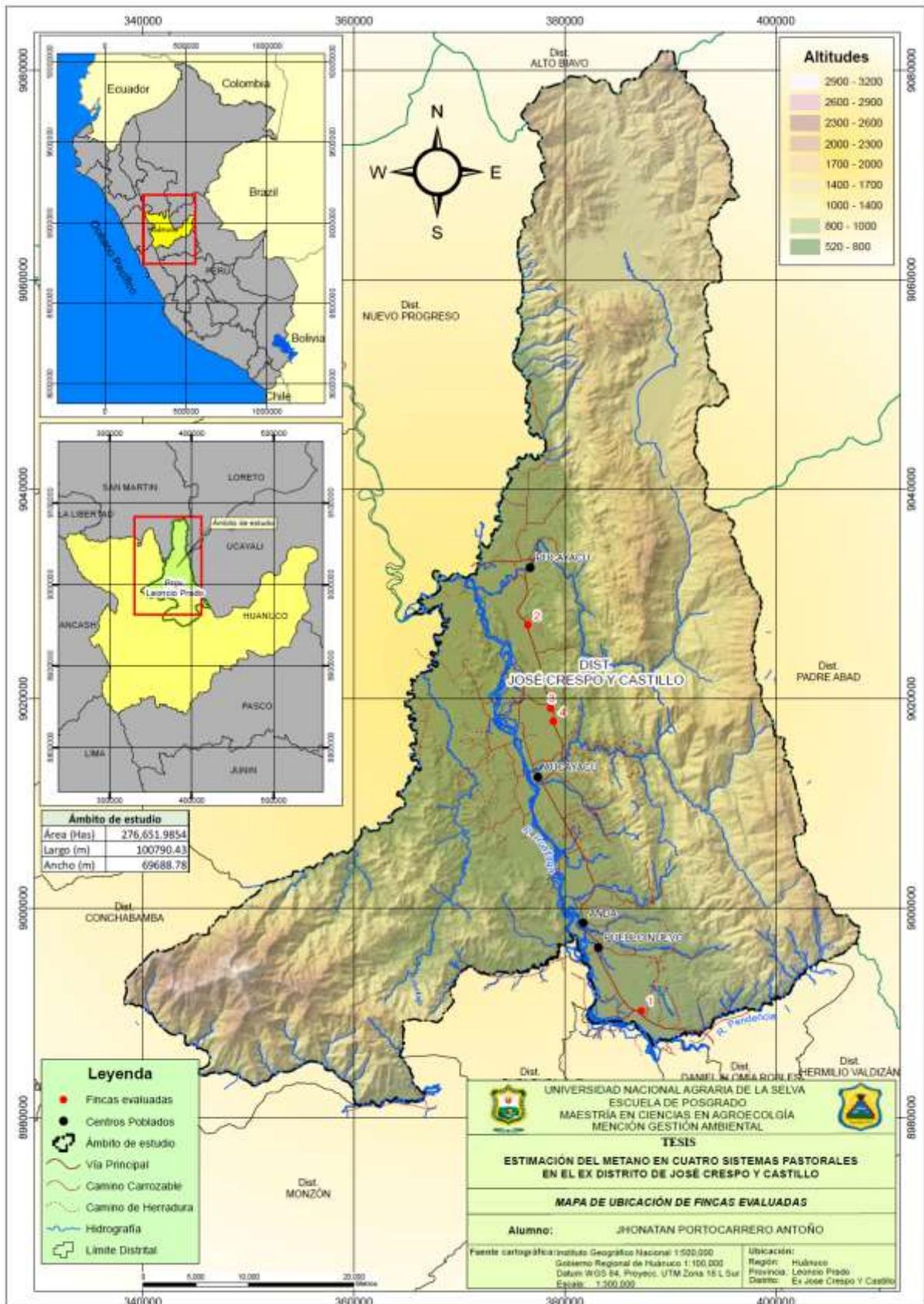


Figura 1. Mapa de ubicación del estudio

Valles Plenipénicos. - Sus cotas varían desde 200 msnm. Hasta los 500 msnm, se caracteriza por presentar colinas alargadas con pendientes poco pronunciadas entre 5% - 12% que sobresalen en la zona Este y Oeste del territorio, esta formación fisiográfica contiene una mayor diversidad biótica.

Paisaje Colinoso. - Está constituido por elevaciones de la superficie que llegan hasta los 1 200 msnm, este paisaje se caracteriza por su pendiente que va desde moderadamente empinada (10% de pendiente) hasta empinada (> 55%) en la Cordillera Azul que se desplaza de Este a Norte en la zona alta Oriental del distrito colindante con los distritos de Hermilio Valdizán y Contamana en los departamentos de Huánuco y Ucayali. En su mayoría comprende tierras asociadas para pastoreo y protección, las tierras agrícolas aparecen como pequeñas manchas dispersas dentro de grandes extensiones de tierras. Los rasgos geomorfológicos que relacionan esta zona con la llanura aluvial son los abanicos aluviales formados por los ríos tributarios del río Huallaga.

Las características fisiográficas y de relieve han dado como resultado la localización de asentamientos humanos en el nivel inferior de las colinas, en lugares donde existen las mejores posibilidades de utilización de recursos. En estas zonas con mejores tierras y con mejor accesibilidad se fueron afianzando y desarrollando un número significativo de poblados que concentra una proporción importante de la poblacional rural.

- **ACTIVIDADES ECONÓMICAS:** La principal actividad económica de la provincia de Leoncio Prado es la agricultura, la misma que representa en promedio de 65,72% de la PEA, con 65% de una agricultura de subsistencia, bajo nivel tecnológico, de rendimiento y un casi nulo sistema de información. La actividad comercial muestra niveles importantes en dos distritos de la provincia: en Rupa Rupa donde representa 24,30% de la PEA y en el distrito de José Crespo y Castillo, donde esta actividad representa 40% de la PEA, según el Censo del 2012. El sector manufacturero es incipiente, que absorbe apenas el 5% de la oferta laboral. El sector turismo, a pesar de las bondades de nuestra provincia, tiene muchas limitaciones de infraestructura vial, de servicios, de

capacitación y de puesta en valor de los atractivos turísticos, aunque se han venido incrementando esta actividad en los últimos años.

3.2. Época de evaluación

Las evaluaciones se realizaron a un grupo muestral de sistema ganaderos de ganaderos que se ubican en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado (Pueblo nuevo, Pucayacu, José Crespo y Castillo y Santo Domingo de Anda), durante la estación seca (época de menor precipitación), para los meses de mayo, junio, julio y agosto del 2019.

3.3. Cálculo del tamaño muestral

Basado en la Información del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) del último Censo Nacional Agropecuario (INEI 2012b), la zona de estudio corresponde al distrito con mayor presencia de sistema ganaderos de la provincia de Leoncio Prado (Tabla 2).

Tabla 2. Fincas ganaderas en los distritos de la provincia de Leoncio Prado

DISTRITOS	Fincas ganaderas	Número de animales
José Crespo y Castillo	429	6 004
Rupa Rupa	130	1 469
Daniel Alomía Robles	192	1 872
Hermilio Valdizán	54	463
Padre Felipe Luyando	64	615
Mariano Dámazo Beraún	210	1 393

Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario 2012

El distrito en estudio presenta 429 fincas ganaderas y una población estimada de 6,004 cabezas. Para determinar el tamaño muestral se aplicó la fórmula de estimación a través de un muestreo aleatorio simple (MAS):

$$n = \frac{Z^2 pqN}{(N - 1)E^2 + Z^2 pq}$$

Donde:

n = Tamaño muestral

Z = Nivel de confianza (95%= 1.96)

pq = Varianza (0.3x0.7)

N = La población conocida (429)

E = Nivel de error de estimación (10% = 0,10)

La varianza calculada, corresponde a una pre-encuesta realizada inicialmente a 10 sistema ganaderos escogidas aleatoriamente, basado a una pregunta dicotómica (con respuesta afirmativa y negativa, es decir SI y NO) de peculiar interés en la caracterización de las fincas ganaderas. La pregunta fue: “si cuentan con más de tres potreros en sus parcelas”; de los cuales se obtuvieron que tres fincas ganaderas de las 10 pre-encuestadas cuentan con más de tres potreros, y siete fincas restantes no. Para ello, la respuesta positiva (p) tuvo un valor de 0,3 y la respuesta negativa tuvo un valor de 0,7. estos valores se reemplazaron en la fórmula del MAS.

Finalmente se estimó un tamaño muestral, correspondiendo a **68 fincas** aplicando un nivel de confianza del 95%, para una varianza calculada con una variable dicotómica (0,3 y 0,7) y un 10% de error de estimación.

3.4. Materiales y equipos

Los siguientes equipos fueron utilizados:

- GPS: GPSMAP® 64; GLONNAS; año de fabricación 2017. Serie: wsap674-tys5.
- Cámara fotográfica: CANON T6 negra. Año 2017. Sensor CMOS (APS-C) de 18 Megapixeles. Serie: Código: 013803271362.
- Laptop: Lenovo, Intel 5i. Año 2017. Número de serie PF0SEFGB.
- Impresora: Epson L380 Ex L220. Sistema continuo. Año 2018. Serie 4563245-5637345.

- Software LIFE-SIM: livestock feeding Strategies Simulation Models. Versión 15.1. Disposición del software por cortesía del Centro Internacional de la Papa. Previa coordinación con el *Ph.D.* Carlos León Velarde.
- Balanza analítica: NEURTEK. TE3102S. Año 2018. Serie: GFDT-12542-RT.
- Estufa: Estufa universal UN y UF con Single DISPLAY. Año 2015. Serie: UN750.
- Penetrómetro: Año 2014. Modelo 08181.
- Fotómetro: Año 2016. Luxómetro.
- Geotermómetros: Año 2015. Modelo YH-S08.
- Tijera podadora: Año 2018. Stanley.
- Metro cuadrado: Madera tornillo. Fabricación 2018.
- Machete: Águila. Año 2018. Color negro.
- Wincha 5 metros. Stanley. Año 2018.

Los materiales utilizados fueron:

- Bolsas de polietileno.
- Plumones indelebles.
- Pilas doble A.
- Fichas de encuestas - Papel bond.

3.5. Metodología para el desarrollo del estudio

Para el cumplimiento del objetivo general se propuso el desarrollo de un proceso metodológico basado en esquematizar el proceso de intervención y diagnóstico de una cuenca, considerando la cuenca como unidad de planificación y la finca ganadera como unidad de intervención (Robles-Rodríguez 2005) que se describe en la Figura 3.

La primera etapa consistió en la coordinación institucional el cual se realizó con las entidades de la zona de estudio, con el propósito de hacer conocer el trabajo a realizarse. La segunda etapa consistió en realizar el diagnóstico de los sistemas ganaderos de cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado, a través de una encuesta basado en el nivel de degradación de sus pasturas. Con la data obtenida se procedió a la tipificación y caracterización de las fincas ganaderas, formando cuatro grupos de sistemas ganaderos, cumpliendo el primer objetivo específico.

La tercera etapa consistió en la evaluación de pasturas para determinar la disponibilidad de biomasa, calidad del pasto (proteína cruda y digestibilidad) e información del hato de los sistemas ganaderos seleccionados, con ello se cumplió el segundo objetivo específico. La cuarta etapa consistió en estimar las emisiones de metano por grupo evaluado, utilizando el software LIFE-SIM (León-Velarde et al. 2006), diferenciando los grupos conformados, cumpliendo así el tercer objetivo específico; posteriormente en la última etapa se generaron propuestas de mitigación por cada grupo de sistema encontrado, cumpliendo con el cuarto objetivo específico.

3.5.1. Caracterizar y tipificar los sistemas pastorales en base al nivel de degradación de sus pasturas, en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado

Para la evaluación de la degradación de pasturas, se empleó dos tablas de degradación, basada en una calificación visual in situ de pasturas naturales o naturalizadas y pasturas mejoradas en las 68 fincas.

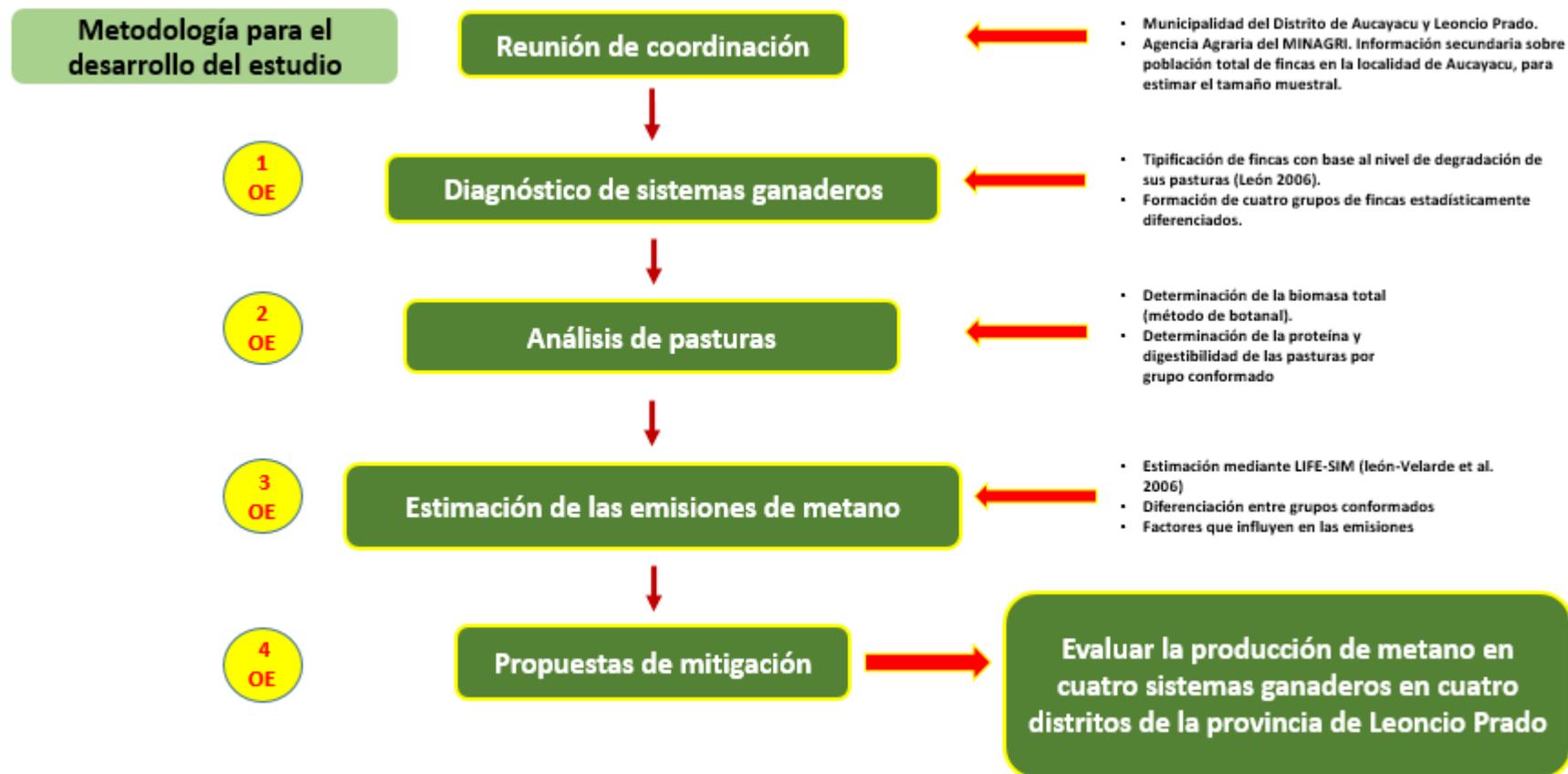


Figura 2. Diagrama del desarrollo metodológico – Elaboración propia

A. Tabla de degradación para las pasturas naturales

En la tabla de degradación para pasturas naturales, el 50% de importancia se otorgó a las características propias de las pasturas, que a nivel técnico puede ser las más importantes para el manejo de los animales, principalmente en la alimentación del animal. Las características fueron; la cantidad de especies palatables del área en evaluación, disponibilidad y condición de la pastura in situ. El otro 50% le correspondía a la cobertura del área evaluada, las cuales son consideradas efectos de manejo y algunas condiciones propias de la superficie de suelo, entre estas están: Malezas, Suelo desnudo y Erosión.

Para que los niveles de degradación fueran fácilmente identificados se otorgó una escala numérica de 1,0 a 3,0. El rango de la puntuación acumulada es resultante de la multiplicación de cada una de las características mencionadas, por el porcentaje de importancia (Tabla 3), donde un rango de puntuación acumulada de 2,6 a 3,0 resultara una degradación Moderada, su extremo es un rango entre 1,0 a 1,5 con una degradación Muy Severa. Así por ejemplo un resultado de 2,0, está contenida en un nivel de degradación Severa.

Tabla 3. Tabla del Nivel de degradación en pasturas naturales

NIVELES DE DEGRADACIÓN PARA EVALUAR PASTURAS NATURALES		Rango de la puntuación acumulada			
Moderada		2,6 – 3,0			
Severa		1,6 – 2,5			
Muy severa		1,0 – 1,5			
CARACTERÍSTICAS DE LAS PASTURAS NATURALES (50%)					
Sp. palatables	Escala *A (20%)	Condición de pastura	Escala *B (15%)	Disponibilidad	Escala *C (15%)
> 60%	3	Regular	3	Media	3
30-59%	2	Malo	2	Pobre	2
< 19%	1	Muy malo	1	Muy pobre	1

COBERTURA DEL ÁREA EVALUADA 1 HA O POTRERO (50%)					
Maleza	Escala *D (15%)	Suelo desnudo	Escala *E (20%)	Erosión	Escala *F (15%)
<5%	3	No hay 0%	3	Apariciones	3
6-15%	2	Espacios pequeños	2	Laminar	2
16-35%	1	Manchas aisladas	1	Surcos o cárcavas	1

*A, B, C, D, E, F; representan el % de importancia que se debe multiplicar por el puntaje otorgado en cada escala
Fuente: León 2006.

B. Tabla de degradación para las pasturas mejoradas

Las pasturas mejoradas o sembradas tienen un manejo más complejo por sus particularidades como, por ejemplo, en la exigencia de nutrimentos del suelo, tasas altas de rebrote, entre otras. Por tal razón se elaboró 5 niveles de degradación, que se condicionan al manejo realizado, así como también a otras características relacionadas a esta.

El rango de puntuación acumulada correspondió a niveles de degradación nula, Leve, Moderada, Severa y Muy Severa, (Tabla 4). Al igual que las pasturas naturales, se otorgó el 50% en la evaluación para las características de la pastura mejorada, y el otro 50% a la cobertura del área evaluada. Las características propias de las pasturas, comprendió las especies mejoradas del área muestreada, Disponibilidad y Condición de la pastura in situ. La cobertura del área evaluada estuvo comprendida por las Malezas, Suelo desnudo y Erosión.

Tabla 4. Tabla de niveles de degradación en pasturas mejoradas

NIVELES DE DEGRADACIÓN PARA EVALUAR PASTURAS MEJORADAS O SEMBRADAS	Rango de la puntuación acumulada
Nulo	4,9 – 5,0
Leve	3,6 – 4,8
Moderada	2,6 – 3,5
Severa	1,5 – 2,5
Muy severa	1,0 – 1,5

CARACTERÍSTICAS DE LAS PASTURAS MEJORADAS

Sp. Mejoradas	Escala *A (20%)	Condición de pastura	Escala *B (15%)	Disponibilidad	Escala *C (15%)
> 81%	5	Excelente	5	Muy alta	5
51-80%	4	Bueno	4	Alta	4
41-50%	3	Regular	3	Media	3
20-40%	2	Malo	2	Pobre	2
< 19%	1	Muy Malo	1	Muy pobre	1

COBERTURA DEL ÁREA EVALUADA 1 HA

Malezas	Escala *D (15%)	Suelo desnudo	Escala *E (20%)	Erosión	Escala *F (15%)
<5%	5	No hay 0%	5	NO	5
6-15%	4	Espacios pequeños	4	Indicios	4
16-35%	3	Manchas aisladas	3	Apariciones	3
36-55%	2	Manchas localizadas	2	Laminar	2
> 56%	1	Completamente desnudo >10%	1	Surcos o cárcavas	1

* A, B, C, D, E, F; representan el % de importancia que se debe multiplicar por el puntaje otorgado en cada escala
Fuente: León 2006.

Estas dos tablas permitieron conocer los estados de degradación que presentan las pasturas, a través de los índices de degradación, en las 68 sistema ganaderos del estudio.

C. Tipificación de los grupos de sistemas ganaderos

Con base a los índices de degradación se realizó un agrupamiento de familias ganaderas el cual se empleó estadística multivariada (Escobar y Berdegué 1990) aplicando la técnica de Análisis de Conglomerado (AC) el cual permitió verificar y agrupar fincas según sus índices de degradación. Con ello se logró la tipificación de tipos de fincas o sistemas ganaderos. Se eligió cuatro diferentes tipos de sistemas, basado en el nivel de degradación de sus pasturas, considerando la selección desde una escala desde la menos degradada a una muy degradada. Se utilizó el dendograma como gráfico determinante para el agrupamiento.

D. Caracterización de los grupos de sistemas ganaderos

Una vez identificados los cuatro grupos de sistemas ganaderos, a través del análisis multivariado, estas fueron evaluadas como grupo, resaltando las características predominantes de cada grupo con respecto a sus niveles de degradación de sus pasturas para poder diferenciarlos entre los grupos formados. Se utilizaron estadística descriptiva, gráficos y Tablas que detallan mejor estas características entre los grupos.

Con ello, se cumplió el primer objetivo específico.

3.5.2. Evaluar los pastos (disponibilidad, proteína bruta y digestibilidad) de los sistemas pastorales identificados, después de la tipificación

Para desarrollar este objetivo se seleccionaron cuatro sistemas ganaderos representativas de cada grupo formado. Se trabajó por lo tanto en cuatro sistemas ganaderos. En cada sistema ganadero se realizaron evaluación y muestreos de pastos en una parcela homogénea que se construyó dentro del potrero principal. El periodo de evaluación fue por el lapso de cuatro meses, correspondiendo una evaluación por mes.

a. Construcción de la parcela de muestreo

Para ello, una vez seleccionadas los cuatro sistemas ganaderos, en cada una de ellas se seleccionó un área homogénea, cuyas dimensiones fueron de 5 x 2 metros dentro de un potrero representativo del área total, que fue cercada con postes y alambrada con cinco hileras de alambre de púa, para evitar que el animal consuma la pastura durante el periodo de evaluación (Figura 4).



Figura 3. Construcción y diseño del área de muestreo

b. Determinación de la disponibilidad de la pastura

La disponibilidad de pasto en materia seca por hectárea se calculó realizando el muestreo sistemático destructivo, aplicando el método del BOTANAL (Ibrahim et al. 2007). Por medio de un marco de madera de un metro cuadrado se tomaron cuatro repeticiones dentro de la parcela de muestreo (Figura 5), cosechándose con una tijera podadora la biomasa aérea (herbácea) simulando el pastoreo a 5 cm sobre la superficie del metro cuadrado (Figura 6),

registrándose el peso como materia verde con una balanza digital y/o tipo reloj de capacidad de 5 kg, de las cuales fueron extrapoladas a Kg.Ha^{-1} de materia verde o forraje disponible en materia verde.

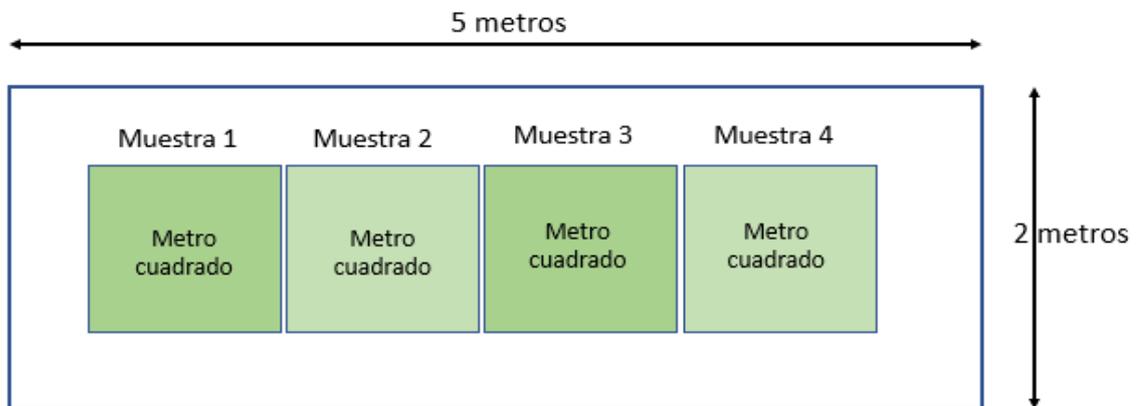


Figura 4. Diseño de parcela con cuatro muestras de evaluación



Figura 5. Cosecha de pasto sobre el metro cuadrado

Para la determinación de la disponibilidad de la pastura en materia seca se tomó una submuestra de biomasa herbácea (100 g aproximadamente) de cada repetición, para luego ser puestas en bolsas de papel pesadas y codificadas, para luego ser llevadas al Laboratorio de Pastos de la Facultad de Zootecnia – UNAS. En el laboratorio las muestras fueron pesadas y puestas dentro de la estufa a 70°C por tres días hasta lograr peso constante (Figura 7).



Figura 6. Muestras puestas en la estufa

Posteriormente fue pesada para determinar el porcentaje de materia seca (Formula 1), extrapoliándose a kilos por hectárea de la biomasa herbácea (Kg.Ha^{-1}) (Formula 2).

Fórmula 1. Determinación del porcentaje de la materia seca del pasto

$$\% \text{ MS} = (\text{MS}_{\text{submuestra}} / \text{MV}_{\text{submuestra}}) * 100$$

Donde:

%MS: Porcentaje de la materia seca (valor en %)

MS submuestra: Peso de la submuestra seca (g)

MV submuestra: Peso de la submuestra en verde (g)

100: Factor para obtener el porcentaje

Fórmula 2. Disponibilidad en materia seca (Kg.Ha^{-1})

$$\text{Disponibilidad en materia seca (Kg.Ha}^{-1}\text{)} = \text{MVH}_{\text{muestra}} * (\% \text{ MS}) * 10$$

Donde:

MVH muestra: Materia verde herbácea de la muestra expresada en g m^{-2}

% MS: Porcentaje de la materia seca de la muestra.

10: Factor para convertir g m^{-2} a kg.ha^{-1}

Por lo tanto, se tuvo la disponibilidad de la pastura expresada en Kg.Ha^{-1} tanto en materia verde como en materia seca, por cada mes de evaluación (cuatro meses).

c. Determinación de la calidad del pasto

La calidad del pasto está en función del contenido de proteína (proteína bruta) y la digestibilidad de este. Para obtener estas variables, se procedió a tomar una muestra de materia seca, aproximadamente 100 g, previamente codificada por tipo de sistema y enviadas al laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su respectivo análisis. El contenido de proteína cruda fue determinado por el método de Kjeldhal (Bateman 1970) y la digestibilidad de la materia seca por método indirecto (Van Soest 1994).

Al igual que la disponibilidad de la pastura, la calidad del pasto se realizó durante los cuatro meses de evaluación. Estas evaluaciones se realizaron durante los meses en época seca.

d. Evaluación física y química del suelo

Para la toma de muestras de suelo, se eligieron un potrero de cada sistema ganadero, aplicando el método de muestreo de suelos (zig-zag) y cada 20 metros aproximadamente, se tomó una submuestra de suelo, limpiando la superficie del terreno y depositándola en un balde; acumulando un total de 10 submuestras por tipo de sistema ganadero, que fueron tomadas entre 20 y 30 cm de profundidad. Luego de tener todas las submuestras en el balde se mezclaron homogéneamente y se tomó 1 kg aproximadamente, para luego codificarlo para su identificación. Las muestras previamente identificadas fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, en la universidad Nacional agraria de la Selva para el análisis fisicoquímico de los suelos de los cuatro tipos de sistemas seleccionados con base a su nivel de degradación de sus pasturas. En cada parcela de muestreo se evaluaron la temperatura del suelo y el nivel de compactación de este con los equipos de la Figura 8.



Figura 7. Geotermómetro (temperatura del suelo) y penetrómetro (nivel de resistencia a la penetración vertical del suelo) utilizados

3.5.3. Estimar las emisiones de metano a través del life-sim de cada sistema identificado

Las estimaciones de metano fueron basadas por el método indirecto, a través del uso del software LIFE-SIM (Livestock Feeding Strategies Simulation Models) (León-Velarde et al. 2006), cuyo principio es un modelo matemático de aproximación (Figura 9).

Los datos del objetivo 2 (de la evaluación de los pastos), sirvieron como variable base para la estimación de las emisiones de metano. El software estimó la producción de metano de un hato con la información del pasto (disponibilidad, proteína cruda y digestibilidad), así como datos climatológicos (temperatura media, humedad relativa y velocidad de viento). Estos últimos fueron adquiridos del SENAMHI en el periodo de estudio. Al introducir los datos, estos se colocaron por detalle en los meses de evaluación, del cual, con cuatro meses de evaluación (una tercera parte del año) se puede tener las aproximaciones de emisiones de metano del hato en estudio por el lapso evaluado.



Figura 8. Software LIFE-SIM.

Se estimaron estas producciones de metano por sistema ganadero evaluada que corresponde a un tipo de sistema, es decir se tuvieron cuatro resultados de producción de metano, correspondiendo a cada tipo de sistema, de los cuales se compararon entre los tipos para definir los sistemas con mayor y menor emisión de metano.

Los resultados de las emisiones por grupo fueron analizados mediante un diseño completamente al azar. Mediante el análisis de varianza y una prueba de medias (DGC) se determinó la diferencia estadística entre sistemas con respecto a las emisiones de metano. Se utilizaron gráficos y tablas que mejor describían estos resultados.

3.5.4. Proponer estrategias de mejoras en cada sistema identificado

Se realizaron propuestas técnicas para reducir las emisiones de metano, basados en la mejora de la calidad de las pasturas y la mejora de los propios sistemas de producción y el manejo de los desechos, en base a las fuentes bibliográficas y experiencias en otros países. Cada tipo de sistema identificado generó diferentes propuestas técnicas basados en su realidad. Las propuestas fueron descritas por componente y mostradas mediante tablas.

3.6. Análisis estadísticos

3.6.1. Para el diagnóstico de sistema ganaderos

Muestreo Aleatorio Simple

Para el cálculo del tamaño de muestra se determinó por medio de la siguiente ecuación (Cochran 1996)

$$n = \frac{Z^2 pqN}{(N - 1)E^2 + Z^2 pq}$$

Donde:

N: es el tamaño de la población (429 sistema ganaderos)

Z: nivel de confianza 95%

E: error muestral deseado 10%

p: 0.3 (varianza de acierto preencuesta: fincas con más de tres potreros)

q: 0.7 (varianza de error preencuesta: fincas que no tienen más de tres potreros)

n: tamaño de la muestra (68 sistema ganaderos)

Se tuvo un tamaño muestral de 68 sistema ganaderos con un nivel de confianza del 95% y un nivel de error del 10%.

Análisis Multivariado para la Tipificación de Sistema ganaderos

El análisis estadístico consistió en la aplicación de técnicas de estadística multivariada. La definición de los grupos (tipologías de sistema ganaderos) se realizó mediante un **Análisis de Conglomerados**. Las variables cualitativas se analizaron a través de Tablas de Contingencia, y las variables cuantitativas con Tablas de Pruebas T de Student. El software empleado fue el Infostat Versión 2020 (Di Rienzo et al. 2020).

Se incluye estadística descriptiva para representar con mayor detalle la caracterización de los tipos de sistema ganaderos.

3.6.2. Para determinar diferencias entre tipos de sistemas

Para el análisis de las variables dependientes disponibilidad de pasto (Kg.Ha^{-1}), calidad del pasto (PC y DMS), análisis químico y físico del suelo, carga animal y emisión de metano, se aplicó un diseño estadístico DCA.

Para ello se define la variable independiente:

- Tipos de sistemas

El modelo estadístico fue un diseño completamente al azar, según el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Es la variable bajo consideración;

μ = Media total;

S_i = Efecto del i-ésimo tipo de sistema;

E_{ijk} = término experimental del error.

Se utilizó la prueba de media DGC para determinar diferencias significativas entre los tipos de sistemas. El software empleado fue el Infostat Versión 2020 (Di Rienzo et al. 2020).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización y tipificación de los sistemas ganaderos en base a su nivel de degradación de sus pasturas en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado

4.1.1. Tipificación de los sistemas ganaderos

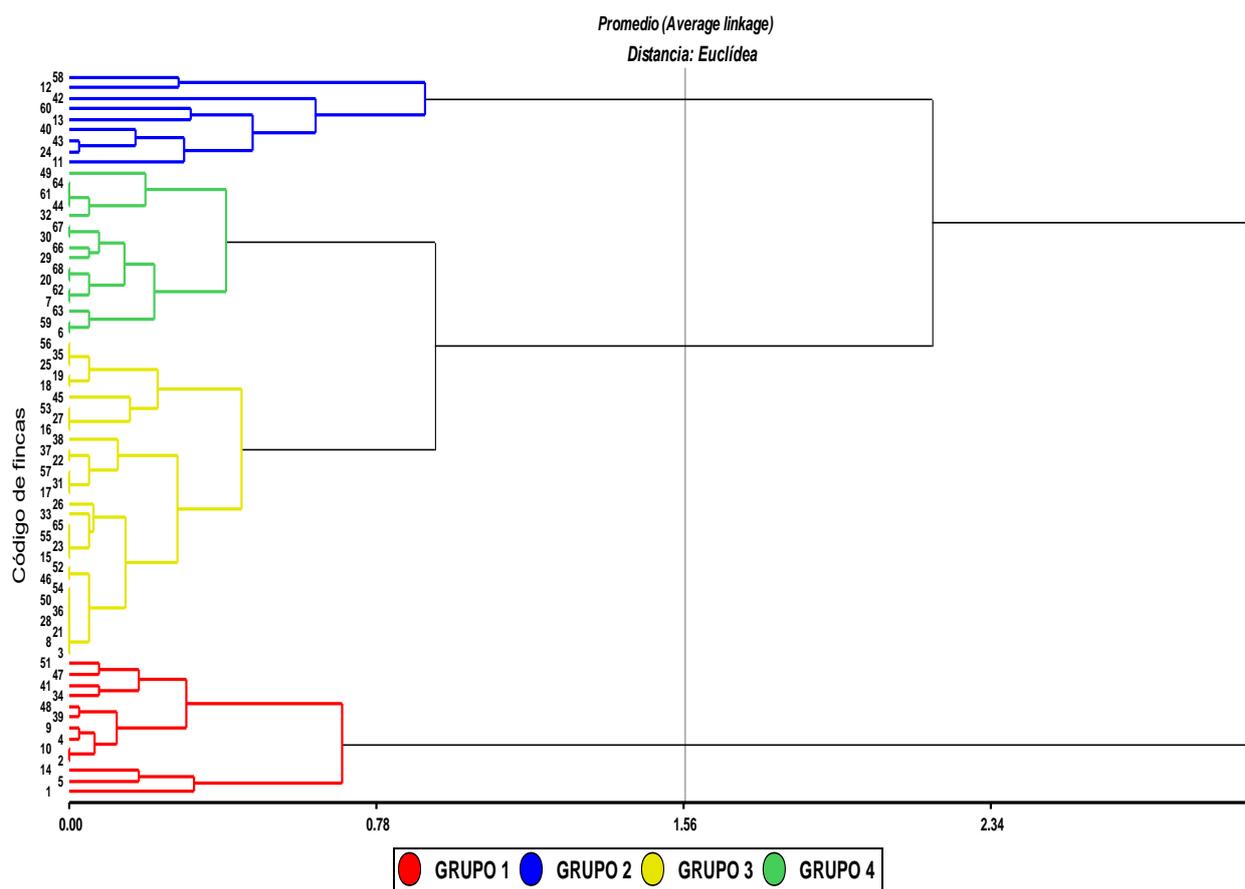


Figura 9. Dendrograma de agrupamiento de las 68 sistemas ganaderos evaluadas con base a los niveles de degradación de sus pasturas.

La Figura 10 detalla el dendrograma donde se representa la formación de cuatro grupos estadísticamente diferenciados, para lo cual se realizó un análisis de conglomerados o agrupamiento con las 68 sistemas ganaderos seleccionadas al azar, con base a los índices de degradación calculados, tanto para las pasturas naturales y las mejoradas. Se

estandarizaron estas variables para su procesamiento. El agrupamiento se realizó utilizando la distancia Euclídea por el método Promedio (Average Linkage), logrando obtener una alta correlación cofenética (0,96).

Se realizó la tipificación de los sistemas ganaderos sobre la base de los índices de degradación de sus pasturas, sugeridas por León (2006), de un total de 68 fincas elegidas aleatoriamente, aplicando estadística multivariada, específicamente el análisis de conglomerado, con el método del promedio (Average Linkage) y distancia de Euclídea, lográndose determinar cuatro grupos claramente diferenciados. Este método sugerido por Pardos et al. (1999); Macedo et al. (2003); Rapey et al. 2001 y Paz et al. (2003), permite definir grupos diferenciados, donde el análisis para su caracterización es mucho más sencillo.

El primer grupo (color rojo) está formado por 13 sistemas ganaderos, mientras que el segundo grupo (color azul) está formado por 9 sistemas ganaderos, el tercer grupo (color amarillo) está conformado por 30 sistemas ganaderos y, por último, el cuarto grupo (color verde) conformado por 16 sistemas ganaderos.

La Figura 11 describe los porcentajes que representa cada grupo conformado.

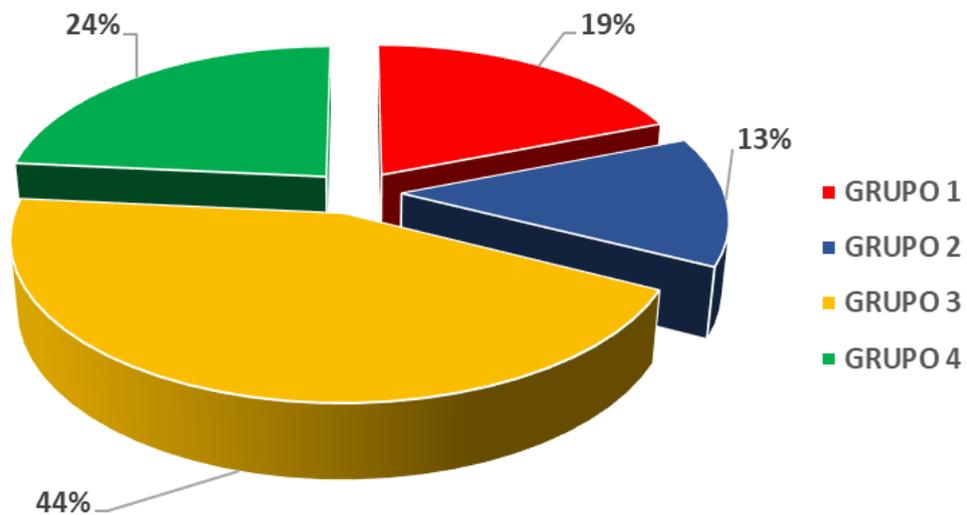


Figura 10. Porcentaje de sistemas ganaderos en los grupos conformados

4.1.2. Caracterización de los sistemas ganaderos

Cada grupo formado presenta particulares características. Dentro de las 68 fincas evaluadas, algunas presentaban como piso forrajero solo pasturas naturales; otras fincas presentaban solo pasturas mejoradas y algunas tanto pasturas naturales y mejoradas a la vez. Para cada tipo de pasturas se evaluaron tablas de degradación con seis indicadores que medían las características propias de la pastura y su cobertura. De ella se lograba obtener un índice de degradación, que para las pasturas naturales van desde 1 a 3 (degradación muy severa, severa y moderada) y para las pasturas mejoradas de 1 a 5 (degradación muy severa, severa, moderada, leve y nula).

De acuerdo con los niveles de degradación, medidos a través de los índices de degradación, fueron clasificados los grupos formados. La Tabla 5 y la Figura 12 muestran los índices de degradación para cada grupo y los niveles de degradación de las pasturas. Se puede observar que el grupo 1 de sistemas ganaderos, que representa el 19% de los sistemas ganaderos tiene solo pasto mejorado, con un índice de 4,13 que la clasifica como una degradación leve. El grupo 2 con una representación del 13% de los sistemas ganaderos, presentan tanto pasto natural y pasto mejorada, es decir ambas pasturas; para la pastura natural presenta un índice medio de 2,42 que la clasifica como degradación severa, mientras que para la pastura mejorada presenta un índice de 4,10 que la clasifica como una degradación leve. El grupo 3 con 44% de los sistemas ganaderos evaluadas, presentan solo pastura natural, con un índice de 2,47 que la clasifica como degradación severa; y por último el grupo 4, que representa el 24% de los sistemas ganaderos presenta un índice de 1,57, que la clasifica como una pastura con una degradación muy severa.

Tabla 5. Medias de los índices de degradación de las pasturas evaluadas

GRUPO	% Sistemas ganaderos	PASTO NATURAL		PASTO MEJORADO	
		Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar
1	19			4,13	± 0,19
2	13	2,42	± 0,14	4,10	± 0,14
3	44	2,47	± 0,04		
4	24	1,57	± 0,05		

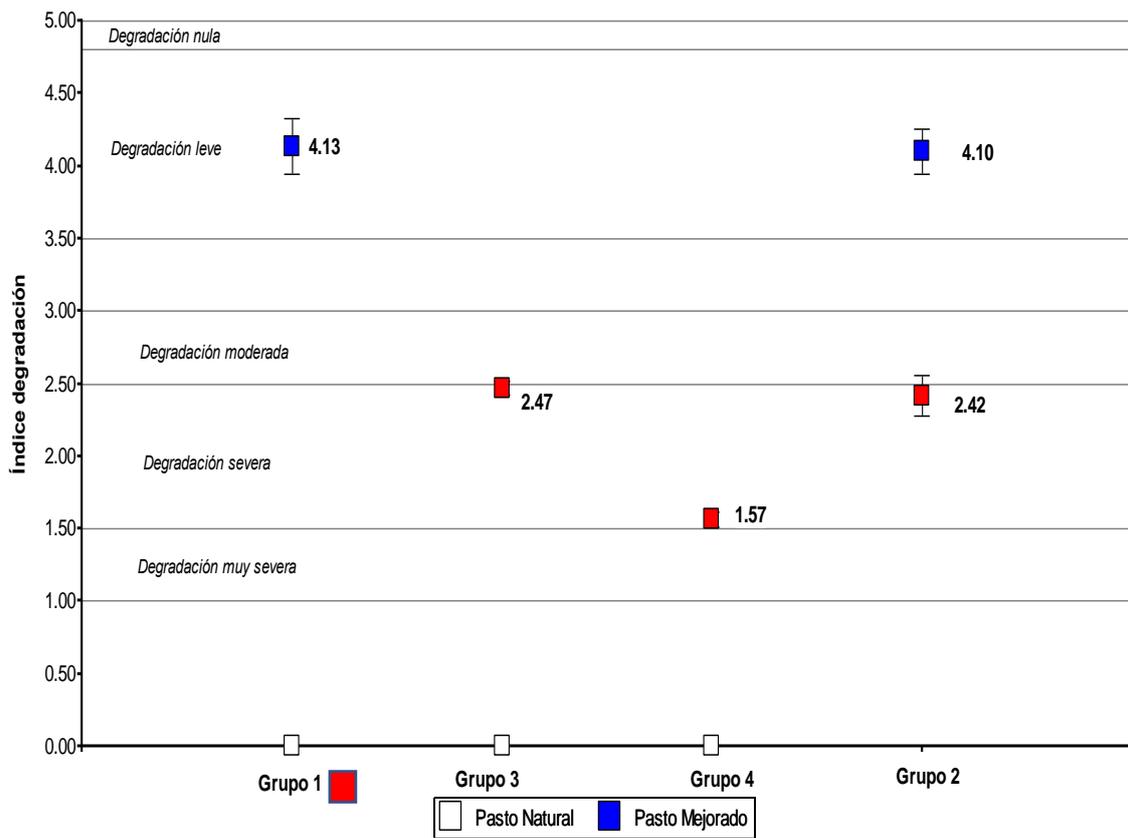


Figura 11. Nivel de degradación, según los índices de degradación.

Como puede verse en la Tabla 6, al analizar los sistemas ganaderos que cuentan con pasto natural (grupos 2, 3 y 4) se evidencia una clara diferenciación estadística entre ellas ($p\text{-valor} = <0,0001$) con respecto al índice de degradación, resultando que los sistemas ganaderos de los grupos 2 y 3 se comportan estadísticamente similar con una diferencia hacia los sistemas ganaderos del grupo 4.

Los grupos identificados y diferenciados estadísticamente se basan sobre los índices de degradación que lograron tener. La Tabla 5 y Figura 12, describen los índices de degradación tanto del pasto natural como del pasto mejorado. Según León (2006) al aplicar los seis indicadores para cada tipo de pasto se determina su condición actual; resultando que para el grupo 1, presentan una degradación leve; el grupo 2 presentan una degradación entre leve y severa; el grupo 3 presentan una degradación severa y, por último, el grupo 4 presentan una degradación muy severa.

Tabla 6. Análisis de varianza entre los grupos conformados según los índices de degradación para los dos tipos de pasturas

GRUPOS	Pasto natural		Pasto mejorado	
Grupo 1			4,13 ± 0,10	A
Grupo 2	2,42 ± 0,08	A	4,10 ± 0,11	A
Grupo 3	2,47 ± 0,04	A		
Grupo 4	1,57 ± 0,06	B		
		p-valor = <0,0001 **	p-valor = 0,7453 NS	

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas, según prueba DGC (5%).

Cuando se analiza el resultado con las pasturas mejoradas, en la misma Tabla 6, no se logra determinar ninguna diferencia estadística (p-valor=0,7453) entre los sistemas ganaderos de los grupos 1 y 2, que son las que cuentan con pasto mejorado en sus potreros. En otras palabras, estos sistemas ganaderos presentan una misma condición de nivel de degradación.

La Tabla 7 muestra las seis características evaluadas en las pasturas naturales. Los grupos que tienen pasturas naturales son los sistemas ganaderos de los grupos 2, 3 y 4. Cada variable fue evaluado con base a tres niveles, siendo 1 la menos deseada y 3 la más deseada.

Tabla 7. Características evaluadas de las pasturas naturales en los grupos

CARACTERÍSTICAS	Nivel	Variable	Inferencia Chi- cuadrado	Grupo 2 (13%)	Grupo 3 (44%)	Grupo 4 (24%)
Especies palatables	1	< 19%	0,0001 **	11,11%	0,00%	50,00%
	2	30-59%		44,44%	53,33%	50,00%
	3	> 60%		44,44%	46,67%	0,00%
Condición	1	Muy malo	<0,0001 **	11,11%	3,33%	62,50%
	2	Malo		11,11%	40,00%	25,00%
	3	Regular		77,78%	56,67%	12,50%
Disponibilidad	1	Muy pobre	<0,0001 **	11,11%	0,00%	73,33%
	2	Pobre		22,22%	46,68%	26,67%
	3	Media		66,67%	53,33%	0,00%
Malezas	1	16-35%	0,0072 *	44,44%	46,67%	100,00%
	2	6-15%		44,44%	40,00%	0,00%
	3	<5%		11,11%	13,33%	0,00%

CARACTERÍSTICAS	Nivel	Variable	Inferencia Chi- cuadrado	Grupo 2 (13%)	Grupo 3 (44%)	Grupo 4 (24%)
Suelo desnudo	1	Manchas aisladas	0,0009 *	0,00%	0,00%	31,25%
	2	Espacios pequeños		33,33%	30,00%	50,00%
	3	No hay 0%		66,67%	70,00%	18,75%
Erosión	1	Surcos o cárcavas	0,0035 *	0,00%	3,33%	6,25%
	2	Laminar		44,44%	10,00%	62,50%
	3	Apariciones		55,56%	86,67%	31,25%

** = Altamente significativo; * = significativo

Con respecto a las especies palatables presentes en la pastura, se observa que los sistemas ganaderos del grupo 2, un 89% de ellas presentan especies palatables desde 30 a mayores de 60% en sus potreros, similar situación resulta para los sistemas ganaderos del grupo 3; mientras que para los sistemas ganaderos del grupo 4, el 50% de ellas presentan menos del 19% de especies palatables en sus potreros. De igual manera para la condición de la pastura, mientras que para los sistemas ganaderos de los grupos 2 y 3 el 77,78% y el 56,67% de ellas respectivamente presentan una condición regular; sin embargo, para los sistemas ganaderos del grupo 4 el 73,33% de ellas presentan una disponibilidad muy pobre. Se observa, asimismo, que existe una clara influencia de los niveles de cada característica sobre los grupos conformados (p-valor <0,05).

La Tabla 7 describe que los grupos 2, 3 y 4 son las que presentan pasturas naturales y dentro de ellas las del grupo 4, presentan solo un 50% de especies palatables (en sus potreros), además de tener una condición muy mala, una pobre disponibilidad, una alta presencia de malezas, un tercio del área son suelos desnudos y un alto porcentaje de erosión laminar. Estas características lo describen Pérez (2014), Brown (2003) y Padilla y Sardiñas (2003) como características de pasturas degradadas.

Con respecto a las características de las pasturas mejoradas solo dos grupos de sistemas ganaderos fueron evaluados (grupo 1 y 2). La Tabla 8, muestra las seis características con cinco niveles de evaluación, siendo 1 el menos deseado y 5 el más deseado. De acuerdo con ello, se tiene que para las especies palatables, en los sistemas ganaderos del grupo 1 el 76% de ellas presentan desde 51 a más de 81% de especies palatables, similar

comportamiento se observa en los sistemas ganaderos del grupo 2, donde el 100% de los sistemas ganaderos logran presentar desde 51 a más del 81% de especies palatables en los potreros. La siguiente característica Condición, presentan los mayores porcentajes de sistema ganaderos con las mejores condiciones, tal es así para los sistemas ganaderos del grupo 1, el 61% de ellos, presentan una condición buena mientras que el 44% de los sistemas ganaderos del grupo 2 presentan también esta condición buena. El resto de las variables presentan similar comportamiento, logrando determinar que no existe una evidencia estadística de la influencia de los niveles de las variables sobre los dos grupos evaluados (p -valor $>0,05$) que presentan pastos mejorados.

Tabla 8. Características evaluadas de las pasturas mejoradas en los grupos

CARACTERÍSTICAS	Nivel	Variable	Inferencia Chi- cuadrado	Grupo 1 (19%)	Grupo 2 (13%)
Especies palatables	1	< 19%	0,2941 NS	7,69%	0,00%
	2	20-40%		0,00%	0,00%
	3	41-50%		15,38%	0,00%
	4	51-80%		23,08%	55,56%
	5	>81%		53,85%	44,44%
Condición	1	Muy malo	0,6003 NS	0,00%	0,00%
	2	Malo		7,69%	0,00%
	3	Regular		15,38%	33,33%
	4	Bueno		61,54%	44,44%
	5	Excelente		15,38%	22,22%
Disponibilidad	1	Muy pobre	0,7804 NS	0,00%	0,00%
	2	Pobre		7,69%	0,00%
	3	Media		38,46%	44,44%
	4	Alta		23,08%	33,33%
	5	Muy alta		30,77%	22,22%
Malezas	1	>56%	0,3523 NS	7,69%	0,00%
	2	36-56%		7,69%	0,00%
	3	16-35%		7,69%	33,33%
	4	6-15%		30,77%	44,44%
	5	<5%		46,77%	22,22%
Suelo desnudo	1	Completamente desnudo	0,4358 NS	0,00%	0,00%

CARACTERÍSTICAS	Nivel	Variable	Inferencia Chi- cuadrado	Grupo 1 (19%)	Grupo 2 (13%)
Erosión	2	Manchas localizadas	0,6368 NS	0,00%	0,00%
	3	Manchas aisladas		0,00%	11,11%
	4	Espacios pequeños		53,85%	55,56%
	5	No hay 0%		46,15%	33,33%
	1	Surcos o cárcavas		0,00%	0,00%
	2	Laminar		0,00%	0,00%
	3	Apariciones		7,69%	11,11%
	4	Indicios		38,46%	55,56%
	5	No		53,85%	33,33%

NS = No significativo

Para el grupo de sistema ganaderos con pasturas mejoradas lo describe la Tabla 8, que indica que solo los grupos 1 y 2 tienen en sus sistemas ganaderos dichas pasturas. Aunque bajo los mismos indicadores estos presentan una degradación leve, es importante indicar lo señalado por Holmann et al (2004), que no solo las pasturas nativas son propensas a la degradación, sino también las pasturas mejoradas, y que muchas de ellas se degradan en solo 5 a 7 años de ser establecidas.

La degradación encontrada en los sistemas de producción ganadera es que todas (el 100%) de ellas se encuentran en un nivel de degradación (desde leve a muy severa). Solo el 19% de los sistemas ganaderos en estudio presentan una degradación leve; un 13% en una degradación entre leve y severa; un 44% de sistema ganaderos presentan una degradación severa y el 24% una degradación muy severa. Estos niveles de degradación coinciden con los trabajos mostrados por León (2006) en Centroamérica y por el CIAT (2005), el cual indica que el 60% de las pasturas existentes en América tropical se encuentran degradadas. Lo dramático de esta situación, lo señala Betancourt et al (2007), que la degradación de las pasturas significa una oferta de menor calidad nutritiva de la biomasa comestible para el ganado, originando menor conversión de carne y leche, y por ende de menor ingreso al sistema ganadero.

4.2. Evaluación de los pastos de los sistemas ganaderos identificados después de la tipificación

4.2.1. Selección de sistema ganaderos de los grupos identificados

Se seleccionaron cuatro sistemas ganaderos para la evaluación de sus pastos que corresponden a cada grupo identificado como resultado de la tipificación (Tabla 9).

Luego de determinar los grupos estadísticamente diferenciados, se inició la selección de un sistema ganadero por grupo. La Tabla 9 describe los cuatro sistemas ganaderos que corresponden a las características de cada grupo, es así como el sistema ganadero 1 corresponde al grupo 1 y así sucesivamente.

Tabla 9. Sistemas ganaderos seleccionadas por grupo conformado

Sistema ganaderos	Clave	Sector	Distrito	Propietario	Ubicación geográfica (UTM 18 L)	
					X	Y
Sistema ganadero 1	48	Santa Lucía	Pueblo Nuevo	Félix Tuanama Zootecnia-UNAS	387216	8990009
Sistema ganadero 2	13	7 de Octubre	Pucayacu	Espinoza Agüero Floirán	376370	9027071
Sistema ganadero 3	25	La Victoria	José Crespo y Castillo	Alejo Nieves Edgar	378784	9019365
Sistema ganadero 4	29	La Victoria	José Crespo y Castillo	Trinidad Torres Gloria	378959	9017782

4.2.2. Características de los sistemas ganaderos seleccionadas

La Tabla 10 describe algunas características que las diferencian, en los rubros de características sociales, técnicas, de recursos con que cuentan y sobre todo del nivel de degradación de sus pasturas. La principal característica que las diferencian es el nivel de degradación de sus pasturas y la complejidad de su sistema silvopastoral. El sistema ganadero del grupo 1, es aquella que presenta una degradación leve, tiene pasturas mejoradas, tiene árboles dispersos en los potreros, así como cercas vivas, a comparación del sistema ganadero del grupo 4, que presenta una degradación muy severa de sus pasturas, no presenta árboles dispersos en sus potreros ni cercas vivas. Los sistemas ganaderos de los grupos 2 y 3 se

encuentran en el nivel intermedio. Es decir, la escala de complejidad del sistema silvopastoral inicia con el sistema ganadero del grupo 1 siendo esta un sistema más complejo (refiriéndonos a más componentes del sistema de pastos) y termina con el sistema ganadero del grupo 4, que es un sistema menos complejo, debido a que solo posee pastura natural sin presencia de árboles ni cercas vivas.

Otra característica importante es que la actividad ganadera va pasando de generación en generación, no reciben asistencia técnica y solo se basa en su autoaprendizaje.

Tabla 10. Algunas características de los sistemas ganaderos seleccionadas de cada grupo tipificado

	Características	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Sociales	Edad del productor (años)	60	32	34	43
	Nivel de educación	Secundaria	Secundaria	Superior	Superior
	Años dedicado a la ganadería	25	18	27	40
	Aprendió la ganadería	Por si solo	De sus padres	De sus padres	De sus padres
	Pertenece a una organización	No	No	No	No
	Recibe asistencia técnica	No	No	No	No
Técnicas	Fertiliza sus pasturas	No	No	No	No
	Infraestructura ganadera	Si	No	Si	Si
	Número de potreros	12	2	1	7
	Cercas vivas	Si	No	Si	No
Recursos	Área total (ha)	50	35	160	146
	Área pasto mejorado (ha)	30	7	0	0
	Área Pasto Natural (ha)	0	10	60	90
	Área de cultivos agrícolas (ha)	0	10	40	41
	Área de conservación (ha)	20	8	60	15
	Árboles dispersos en potreros	Si	Si	Si	No
	Total animales	18	24	118	98
	Naciente de agua	No	Si	No	No
Nivel de Degradación		Leve	Leve y severa	Severa	Muy severa

La Tabla 10 describe las características sociales, técnicas y de sus propios recursos entre los sistemas ganaderos. Podemos ver que para las características sociales se describe la edad del productor y como se observa, el ganadero del sistema ganadero 1 tiene 60 años, mientras que para los sistemas ganaderos 2 y 3 son jóvenes (32 y 34 años) y del sistema ganadero 4 es de una edad media.

Los años de experiencia corresponden de similar comportamiento, mayores años de experiencia se encuentran en los sistemas ganaderos 3 y 4, mientras que los productores de los sistemas ganaderos 1 y 2 presentan menores años de experiencia. Según Ochoa (2015) un importante capital de los productores corresponde a la experiencia de la actividad que realiza y corresponde a innumerables acciones de pruebas de acierto y error. La edad y la experiencia en la actividad fue descrito como una fortaleza por Macera et al. (1999), porque permite una retroalimentación de sus propias actividades.

El nivel de educación si permite resaltar que los sistemas ganaderos 3 y 4 tienen estudios superiores y los de los sistemas ganaderos 1 y 2 solo estudios de secundaria. Según Acosta et al. (2014) la educación recibida o formada influye de manera directa cuando tienen dificultades para comprender los procesos ecológicos y las estrategias adaptativas sugeridas. Esto influye directamente sobre el nivel de sostenibilidad (Altieri 2002).

Todos los sistemas ganaderos no reciben atención técnica ni pertenecen a una organización de ganaderos. Esta situación explica que sus conocimientos sobre ganadería o han sido transmitidas por sus padres o por sí mismos. Según Casasola et al. (2006) y Prabhu (2000) las condiciones técnicas obedecen a su propio interés del ganadero y las limitantes que cuentan.

Con respecto al tamaño de sistema ganadero y área de pastos son los sistemas ganaderos 3 y 4 las de mayor área (160 y 146 ha respectivamente), mientras que los sistemas ganaderos 1 y 2 tienen menores áreas (50 y 35 ha respectivamente). El tamaño de sistema ganadero, según Daniel (2000) permite al productor tener ventajas sobre los recursos naturales, basados en Altieri (2002) que la sostenibilidad ecológica se sostiene en mantener el capital natural constante.

Sin embargo, pese a todo lo mencionado, no existe relación alguna con los resultados obtenido, ya que a pesar de que los dueños de los sistemas ganaderos 3 y 4, tienen

mayores años de experiencia, con un mayor nivel de educación y con mayor área total, cuentan con mayor degradación en sus pasturas.

A continuación, se muestran los detalles de cada sistema ganadero seleccionada.

Sistema ganadero 1

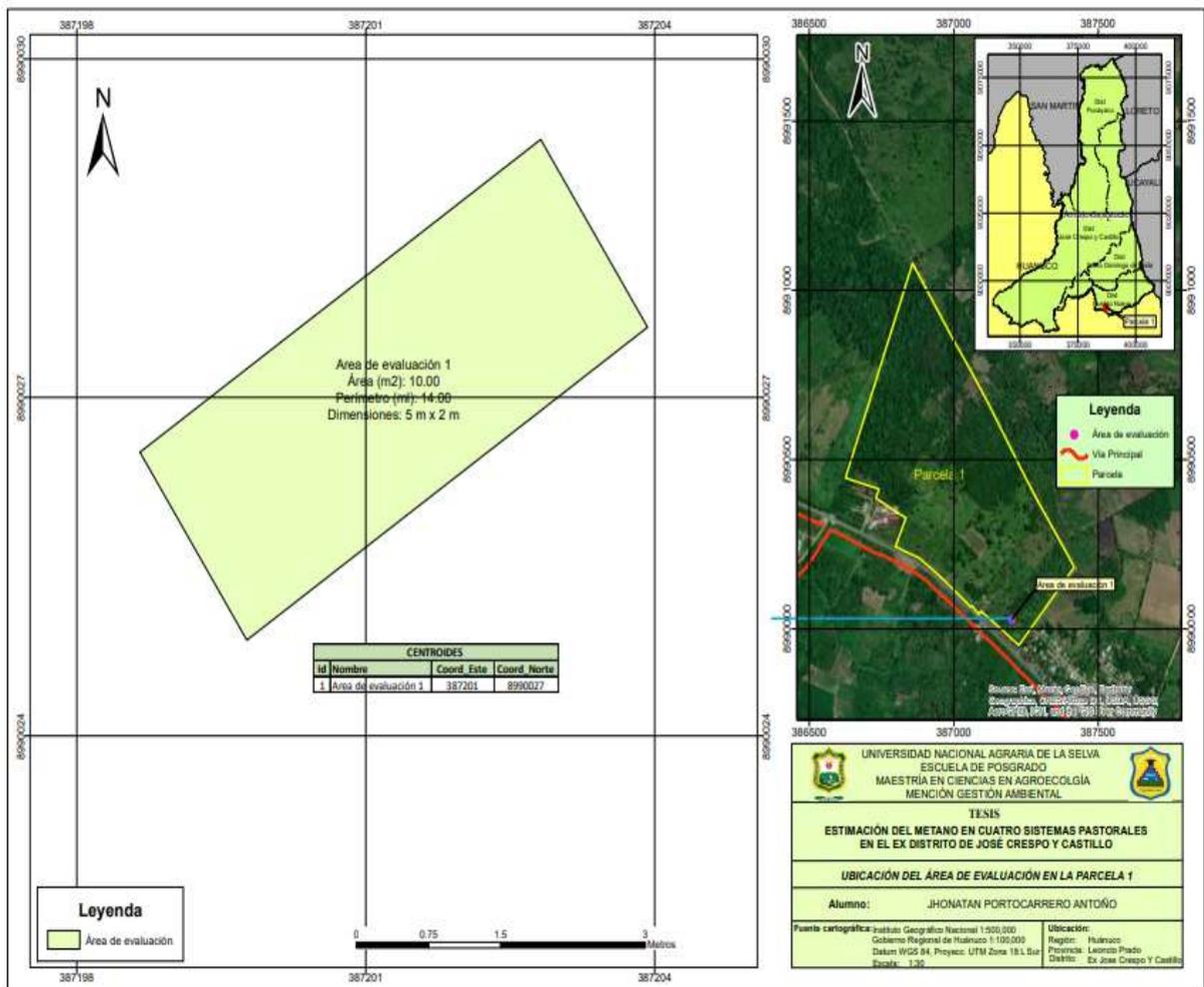


Figura 12. Mapa de ubicación del sistema ganadero 1



Figura 13. Características del sistema ganadero 1. Pasturas mejoradas con degradación leve, con árboles dispersos en potreros (capirona) y cerco vivo

El sistema ganadero 1, ubicado en Tulumayo (distrito de Pueblo Nuevo) está establecido con pasto mejorado, llamado de nombre común: pasto Camerún o pasto alemán (*Echinochloa polystachya* HITCH) y una leguminosa llamada kudzu (*Pueraria phaseoloides*). Sobre esta pastura se encuentra una plantación de árboles de capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth.)) establecida el 2006 (hace 15 años) a una densidad de 6 x 9 metros, haciendo una densidad de 185 árboles por hectárea. Esta especie arbórea tiene un diámetro a la altura de pecho (Dap) de 20,3 cm en promedio y una altura media de 13,9 metros. La característica arbórea de esta especie es su raleado dosel que permite el ingreso de la radiación fotosintéticamente activa (RAFA) en un 43,7% en promedio; el área que cubre el dosel en una hectárea representa en 22,7% (Tabla 11).

Este potrero está rodeado o cercado con cerca viva llamado *Erythrina sp.* Que produce sombra y sirve como cortina rompevientos. La hectárea que ocupa este potrero existe 400 metros lineales de cerco vivo, existiendo en cada 100 metros (lo evaluado) 70 especies, haciendo un total de 280 árboles de *Erythrina sp.* Esta especie establecida también hace 15 años, presenta un diámetro a la altura de pecho de 13,52 cm en promedio y una altura media de 5,27 m. su dosel genera un sombreado del 19,4% de una hectárea. Con respecto a la radiación solar, inhibe su ingreso y solo es aprovechable un 19,6% del total (Tabla 11).

Tabla 11. Características dasométricas de las especies arbóreas del sistema ganadero 1

ESPECIE	Dap (cm)	Altura (m)	Radiación solar (umol.m ² /seg)			Área dosel (m ²)		
			Interno	Externo	radiación útil (%)	individual	hectárea	dosel/ha (%)
Capirona	20,3	13,9	330,2	755,0	43,7	12,3	2 271,8	22,7
Erythrina	13,52	5,27	247,8	1 262,4	19,6	6,94	1 943,2	19,4

Sistema ganadero 2

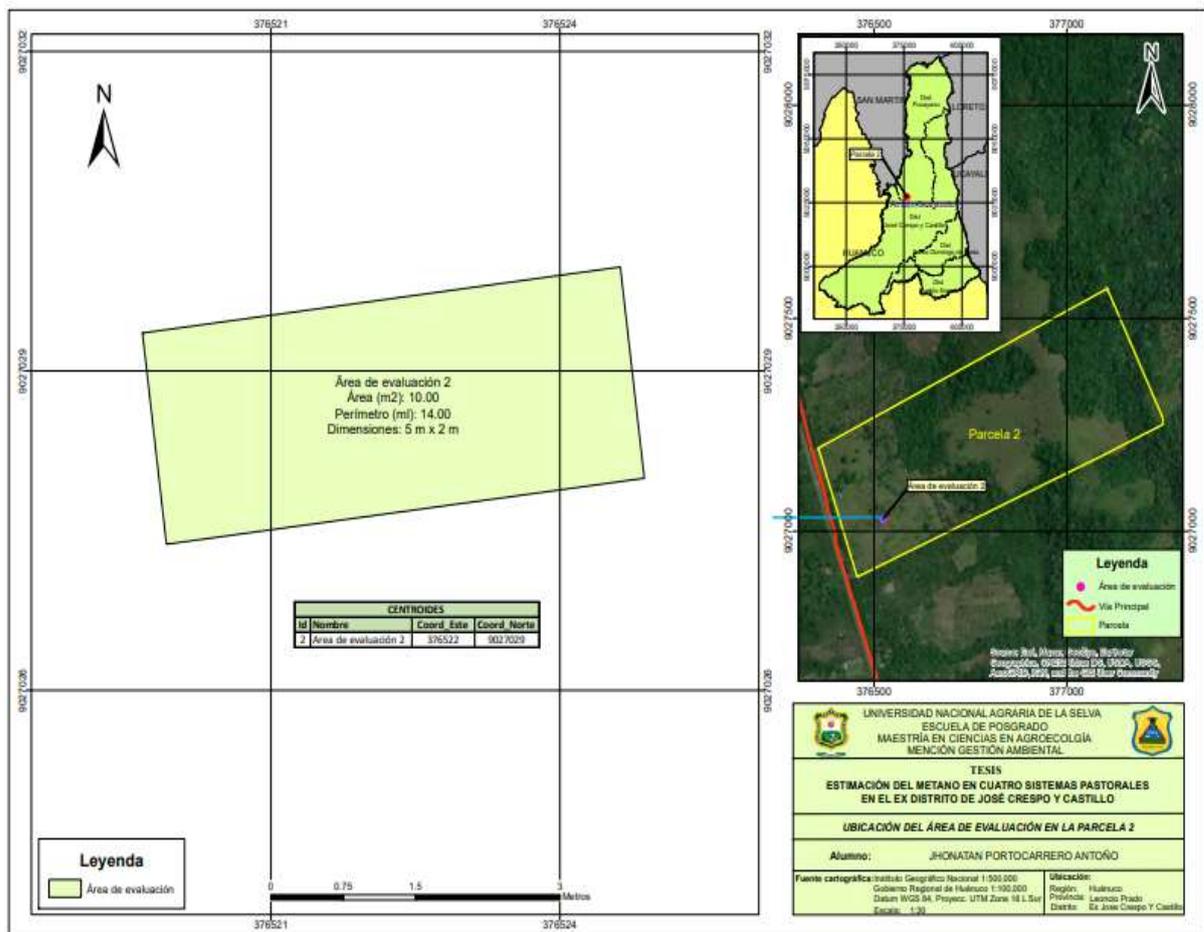


Figura 14. Mapa de ubicación del sistema ganadero 2.



Figura 15. Características de la Sistema ganadero 2. Pasturas naturales con degradación leve-severa, árboles dispersos (guayaba) y sin cercas vivas.

El sistema ganadero 2, ubicada en “7 de octubre”, distrito de Pucayacu, está establecida con *Axonopus compressus* (pasto natural) asociados con una leguminosa *Calopogonium muconoides* (calopogonium). La característica importante de este sistema de producción ganadera es la distribución de árboles de regeneración natural con especies de *Psidium guajava* L. (guayaba) distribuidas aleatoriamente haciendo en una hectárea, una densidad de 107 árboles frutales. Lo interesante de este sistema es que agrupa 11 especies distintas de árboles, siendo principalmente la guayaba, pero existen especies de cítricos como *Citrus sinensis* (naranja), *Citrus jambhiri* L. (limón rugoso), *Citrus aurantiifolia* (limón dulce) y otras especies no frutales, como *Vochysia vismiifolia* (cedrillo), *Ceiba insignis* (Huimba colorada), *Schefflera morototoni* (aceite caspi), *Alseis peruviana* (palo blanco), *Ocotea sp.* (palta moena), *Terminalia oblonga* (yacushapana) y *Miconia sp.* (miconia). Los detalles dasométricos se describen en la Tabla 12.



Figura 16. Evaluación de las especies arbóreas del sistema ganadero 2

Tabla 12. Características dasométricas de la guayaba de la Sistema ganadero 2

ESPECIE	Dap (cm)	Altura (m)	Radiación solar ($\mu\text{mol.m}^2/\text{seg}$)			Área dosel (m^2)		
			Interno	Externo	% radiación util	individual	hectárea	% de dosel/ha
Guayaba	9,87	7,11	423,52	984,61	43,0	12,45	1 332,00	13,30

Sistema ganadero 3

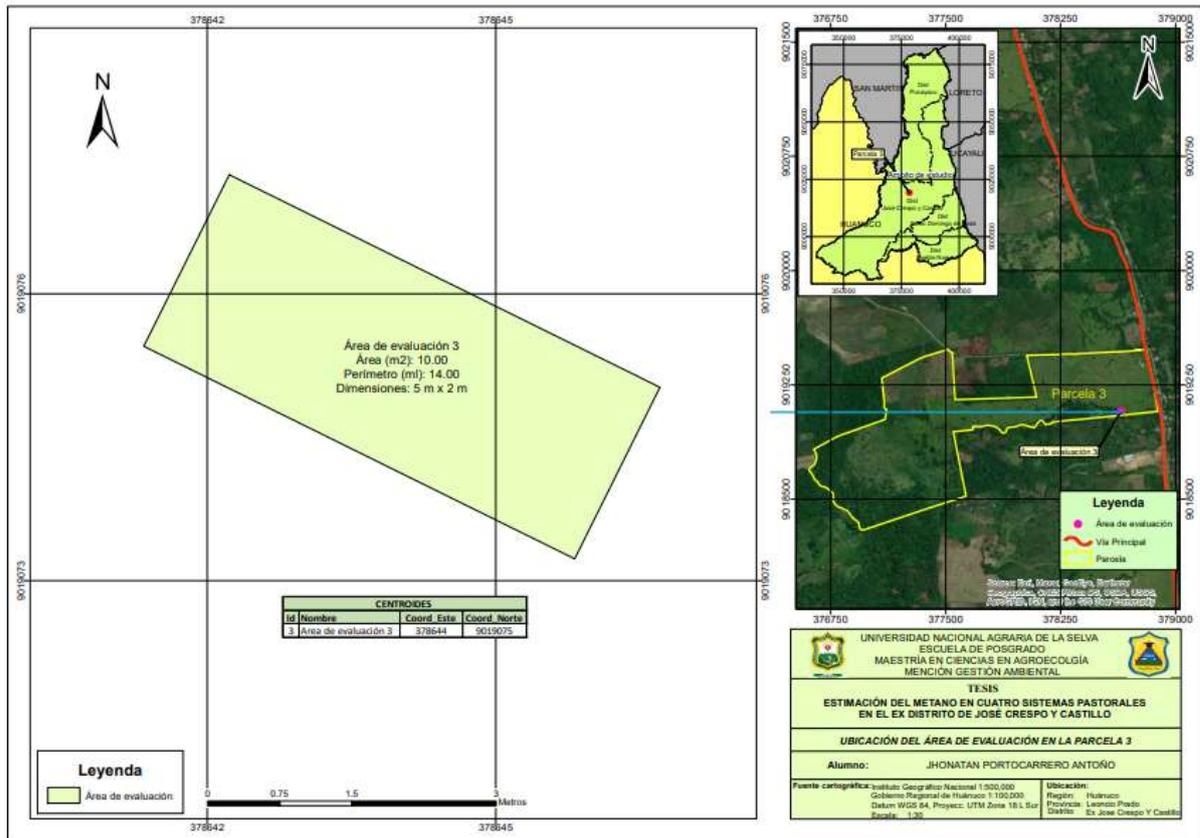


Figura 17. Mapa de ubicación de la Sistema ganadero 3.



Figura 18. Características del sistema ganadero 3. Pasturas naturales con degradación severa y con cercas vivas.

El sistema ganadero 3, ubicada en “La Victoria”, distrito de José Crespo y Castillo, está establecida con *Axonopus compressus* (pasto natural) asociados con una leguminosa *Calopogonium muconoides* (calopogonium).

Tabla 13. Especies arbustivas encontradas en la cerca viva de la Sistema ganadero 3

PARCHE N° 1		
NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
<i>Guarea sp.</i>	Requia	Meliaceae
<i>Cecropia sp.</i>	Cetico	Cecropiaceae
<i>Inga sp.</i>	Poroto Shimbillo	Fabaceae
<i>Ocotea sp.</i>	Palta Moena	Lauraceae
<i>Couma macrocarpa</i>	Leche Caspi	Apocynaceae
<i>Erythrina sp.</i>	Erythrina	Fabaceae
<i>Ficus sp.</i>	Renaco	Moraceae
<i>Virola sp.</i>	Cumala	Myristicaceae
<i>Miconia sp.</i>	Rifari	Melastomatacea
<i>Rubiaceae sp.</i>	Rubiacie	Rubiaceae
<i>Xanthosoma sp.</i>	Patiquina	Araceae
<i>Polystichum sp</i>	Helechos	Dryopteridaceae
<i>Bauhinia sp.</i>	Pata de buey	Fabaceae
PARCHE N° 2		
NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
<i>Cecropia sp.</i>	Cetico	Cecropiaceae
<i>Miconia barbeyana Cogniaux</i>	Paliperro	Melastomatacea
<i>Brosimum parinarioides Ducke</i>	Caucho masha	Moraceae
<i>Ocotea sp.</i>	Palta Moena	Lauraceae
<i>Rubiaceae sp.</i>	Rubiacie	Rubiaceae
<i>Piper aduncum</i>	Matico	Piperacea
PARCHE N° 3		
NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
<i>Mauritia flexuosa</i>	Aguaje	Arecaceae
<i>Brosimum parinarioides Ducke.</i>	Caucho masha	Moraceae
<i>Triplaris sp.</i>	Tangarana	Fabaceae
<i>Guarea sp.</i>	Requia	Meliaceae
<i>Inga sp.</i>	Shimbillo	Fabaceae
<i>Bauhinia sp.</i>	Pata de buey	Fabaceae
<i>Polystichum sp</i>	Helechos	Dryopteridaceae
<i>Ficus sp.</i>	Ficus	Moraceae
<i>Albizia sp.</i>	Pashaquillo	Fabaceae
<i>Gynerium sagittatum (Aublet)</i>	Caña brava	Poaceae

La característica principal de este sistema de producción ganadera es que la hectárea evaluada solo posee una cerca viva multiestrato de múltiples especies. Para su evaluación se consideraron tres segmentos denominados “parches”, y en cuyos segmentos se encontraron 21 especies distintas (Tabla 13).



Figura 19. Imágenes de los tres parches de evaluación

El detalle dasométrico de los parches se describen en Tabla 14. Es importante indicar que este cerco multiestrato tiene una alta cobertura de sombra llegando a

ingresar hasta un 4% de radiación fotosintéticamente activa como máximo, eso indica que debido a la poca radiación que ingresa no prospera el pasto, debido a que el pasto natural no es tolerante a altas densidades de sombra.

Tabla 14. Características dasométricas de los parches de la Sistema ganadero 3

Parche	Longitud (m)	Altura (m)	Ancho (m)	Radiación solar ($\mu\text{mol.m}^2/\text{seg}$)		
				Interno	Externo	% radiación útil
Parche 1	22,90	7,85	7,34	21,67	722,67	3,0
Parche 2	20,10	6,34	9,24	16,33	1 796,33	0,9
Parche 3	39,22	6,67	7,33	64,00	1 591,67	4,0

Sistema ganadero 4

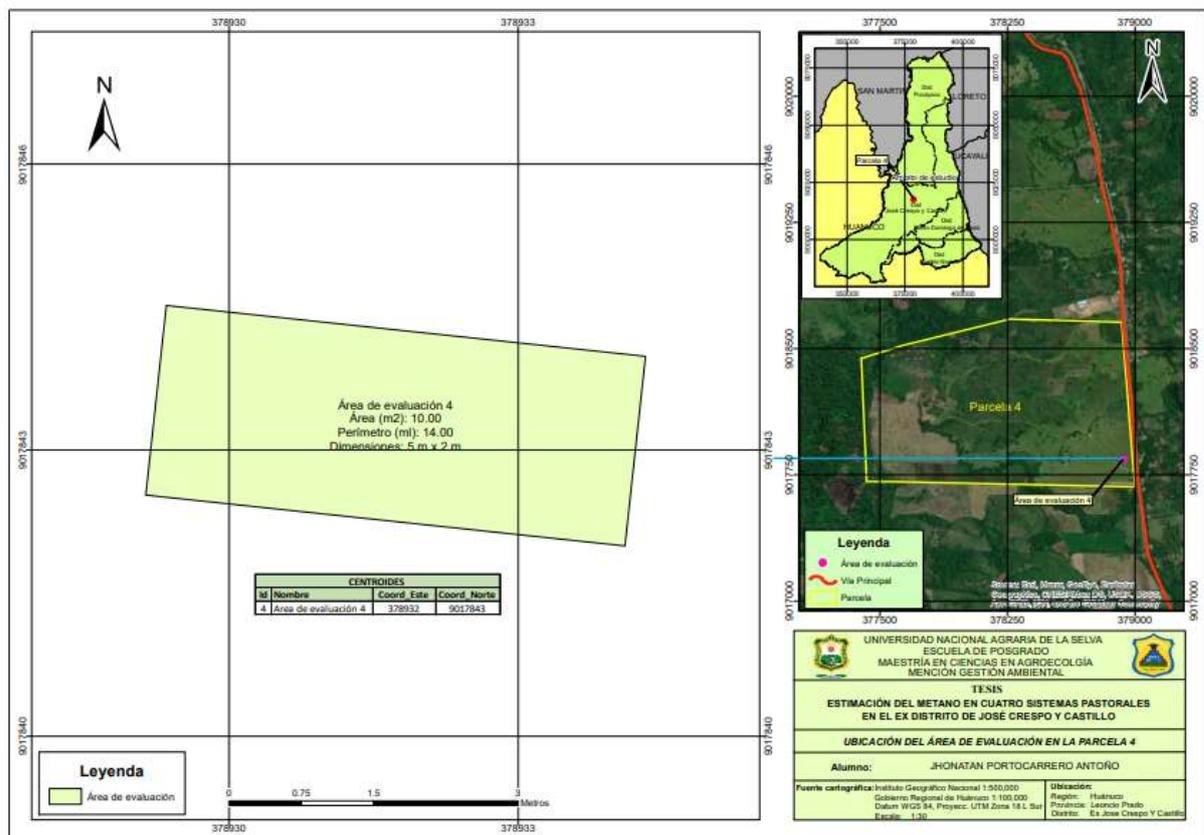


Figura 20. Mapa de ubicación del Sistema ganadero 4



Figura 21. Características del sistema ganadero 4. Pasturas naturales con degradación muy severa.

El sistema ganadero 4, ubicada en “La Victoria”, distrito de José Crespo y Castillo, es el sistema de producción ganadera que solo posee *A. compressus* (pasto natural). Su condición de degradación es muy severa. En la hectárea de evaluación no existe ninguna especie arbórea ni arbustiva.

Es importante indicar que cada sistema ganadero de acuerdo a su nivel de degradación integra sus componentes bióticos, de tal manera que ante un escenario de degradación muy severa (sistema ganadero 4), presenta solo pasto forrajero en su sistema (sistema de monocultivo convencional); ante un escenario de degradación severa (sistema ganadero 3) presenta pasto asociado (gramínea y leguminosa) y cercos vivos; ante un escenario de degradación entre leve y severa (sistema ganadero 2) presentan un pasto asociado, y árboles dispersos de regeneración natural (frutales de guayaba); y ante una degradación leve (sistema ganadero 1) presentan una asociación de pasto mejorado con leguminosa, árboles dispersos (capirona) y cercos vivos (erytrina). Por ello, la condición de la degradación de las pasturas depende directamente de los componentes bióticos que la integran, tal como lo indican Sánchez y Reinés (2001), que los sistemas silvopastoriles (pasturas y especies arbóreas juntas) proporcionan condiciones edafoclimáticas que favorecen la calidad del suelo, con respecto a los pastos de monocultivos.

4.2.3. Evaluación de biomasa de los pastos

La disponibilidad de pasto se evaluó con respecto a la biomasa disponible, medido en g/m² y extrapolado kg/ha. La Tabla 15, detalla los resultados encontrados.

Tabla 15. Pesos medios de biomasa (g/m² y kg/ha) y porcentaje medio de materia seca (%MS) de pasto en los sistemas ganaderos evaluadas en cuatro periodos (media ± error estándar).

EVALUACIÓN	SISTEMA GANADEROS	Biomasa						%MS		
		(g/m ²)			kg/ha					
1 28-may-19	SISTEMA GANADERO 1	165,0	± 13,65	A	1 650,0	± 136,5	A	22,3	± 0,44	A
	SISTEMA GANADERO 2	104,4	± 13,19	B	1 043,8	± 131,9	B	23,0	± 0,58	A
	SISTEMA GANADERO 3	101,2	± 12,75	B	1 011,4	± 127,4	B	24,0	± 0,76	A
	SISTEMA GANADERO 4	53,3	± 7,38	C	533,6	± 73,8	C	23,9	± 0,46	A
	P-valor	0,0013			0,0013			0,2095		
2 29-jun-19	SISTEMA GANADERO 1	121,9	± 7,41	A	1 218,5	± 74,06	A	23,8	± 0,50	A
	SISTEMA GANADERO 2	90,8	± 9,08	B	907,6	± 90,8	B	23,3	± 1,06	A
	SISTEMA GANADERO 3	86,2	± 2,88	B	862,1	± 28,94	B	22,6	± 0,88	A
	SISTEMA GANADERO 4	32,7	± 1,26	C	327,4	± 12,6	C	22,0	± 0,58	A
	P-valor	<0,0001			<0,0001			0,4421		
3 29-jul-19	SISTEMA GANADERO 1	125,0	± 11,17	A	1 250,0	± 111,75	A	24,1	± 0,82	A
	SISTEMA GANADERO 2	95,8	± 14,10	A	957,2	± 140,94	A	23,7	± 0,87	A
	SISTEMA GANADERO 3	93,9	± 7,46	A	938,9	± 74,61	A	24,6	± 0,42	A
	SISTEMA GANADERO 4	34,9	± 2,91	B	348,8	± 29,24	B	23,6	± 0,88	A
	P-valor	0,0003			0,0003			0,7803		
4 30-ago-19	SISTEMA GANADERO 1	116,6	± 9,29	A	1 165,5	± 93,06	A	22,8	± 0,66	A
	SISTEMA GANADERO 2	86,0	± 7,39	B	859,7	± 73,98	B	24,5	± 0,44	A
	SISTEMA GANADERO 3	71,3	± 4,08	B	712,5	± 40,68	B	23,3	± 1,11	A

EVALUACIÓN	SISTEMA GANADEROS	Biomasa						%MS	
		(g/m ²)			kg/ha				
	SISTEMA GANADERO 4	27,2	± 1,59	C	271,8	± 15,91	C	24,2 ± 0,76	A
	P-valor	<0,0001			<0,0001			0,3756	

Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas según prueba de medias DGC al 5% de nivel de significancia.

Los periodos de evaluación distan entre ellas en 30 días. Inició en mayo y finalizó en agosto. Se observa en cada periodo de evaluación una disponibilidad de biomasa, sea en g/m² o kg/ha, de mayor a menor cuando se comparan entre los sistemas ganaderos 1, 2, 3 y 4. Es decir el sistema ganadero 1 que presentan una degradación leve, que son pasturas mejoradas presenta la mayor disponibilidad de biomasa que las otras sistema ganaderos, estadísticamente diferenciadas (p-valor < 0,05); mientras que los sistemas ganaderos 2 y 3 presentan una disponibilidad de biomasa estadísticamente similar, siendo estas las que presentan una degradación leve y severa. Mientras que el sistema ganadero 4, es el sistema ganadero que presenta una degradación muy severa y de allí su baja disponibilidad de biomasa, que resulta menor de todos los sistemas ganaderos. Este mismo comportamiento se refleja en las cuatro evaluaciones realizadas.

La Tabla 15 describe la biomasa encontrada en cada sistema ganadero en las cuatro evaluaciones realizadas. Como se observa, la biomasa encontrada está directamente relacionada con el nivel de degradación de las pasturas, por ende, el sistema ganadero 1 con mayor biomasa en las cuatro evaluaciones que el sistema ganadero 4. Esto coincide con lo indicado por Azevedo et al. (2000) y Decaens et al. (2001), que indica que los pastos mejorados producen mayor biomasa por unidad de terreno, sin embargo, Staff (2014) que señala que la reducción de la biomasa, la pérdida de la calidad nutricional del mismo, la reducción de la capacidad de carga animal por unidad de superficie son efectos de la degradación.

Por otra parte, el porcentaje de materia seca es similar entre las pasturas de los sistemas ganaderos y en las evaluaciones realizadas, es decir, no se logra identificar diferencias estadísticas (p-valor >0,05) entre ellas.

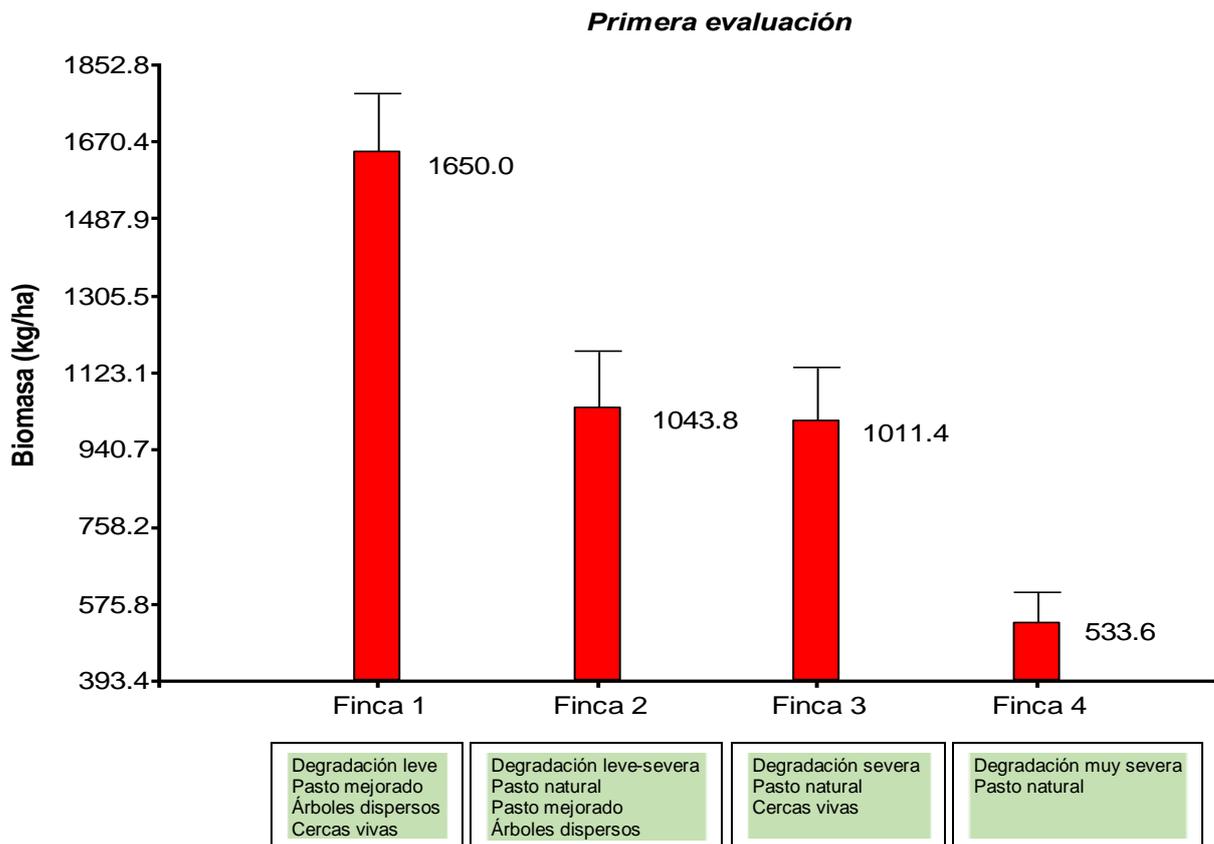


Figura 22. Disponibilidad de biomasa (kg/ha) de pasto en los sistemas ganaderos evaluadas.

La Figura 22 describe la disponibilidad de biomasa (kg/ha) comparativamente entre los sistemas ganaderos evaluadas en el primer periodo de evaluación. Similar comportamiento se obtiene en las otras evaluaciones.

La Figura 23 describe el comportamiento de la disponibilidad de la biomasa en cada una de los sistemas ganaderos en las cuatro evaluaciones realizadas. Como se puede observar existe un comportamiento decreciente por cada periodo de evaluación.

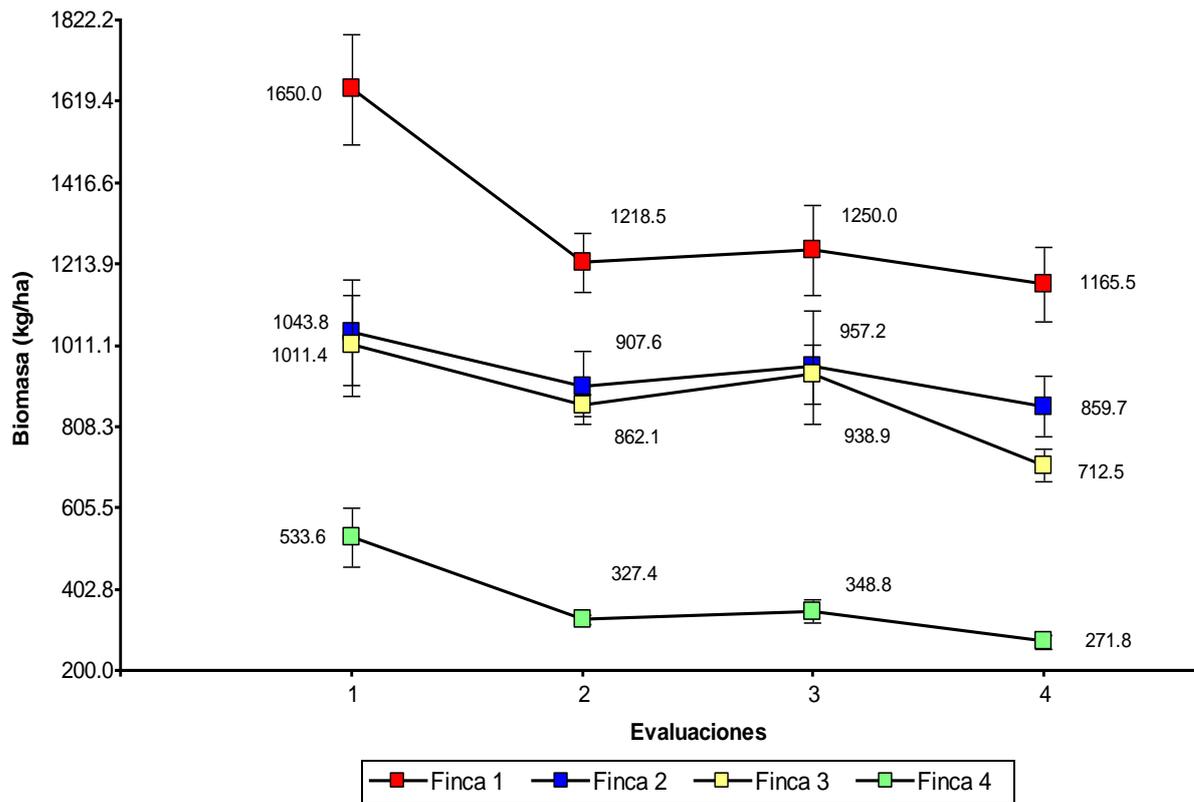


Figura 23. Comparación de la disponibilidad de biomasa (kg/ha) por sistema ganaderos en los cuatro periodos de evaluación.

4.2.4. Análisis químico proximal, FDA y digestibilidad de los pastos por sistema ganadero

La Tabla 16 muestra los resultados del análisis proximal, Fibra detergente ácida (FDA) y el cálculo de digestibilidad hallada por fórmula de Van Soest (1994).

Tabla 16. Análisis proximal, FDA y digestibilidad de los pastos por sistema ganadero evaluada

Nutriente	p-valor	SISTEMA GANADERO 1		SISTEMA GANADERO 2		SISTEMA GANADERO 3		SISTEMA GANADERO 4					
PC (%)	0,0042	10,32	± 0,50	A	9,73	± 0,48	A	9,67	± 0,25	A	7,63	± 0,44	B
Ceniza (%)	0,0191	13,77	± 2,65	A	7,52	± 0,13	B	8,49	± 0,58	B	12,63	± 0,57	A
EE (%)	0,7609	1,01	± 0,11	A	0,87	± 0,09	A	0,97	± 0,10	A	1,04	± 0,15	A
FC (%)	0,0039	24,68	± 0,95	B	27,63	± 0,26	A	24,7	± 0,58	B	29,23	± 1,16	A
FDA (%)	0,0091	39,3	± 1,12	B	37,55	± 1,18	B	35,56	± 1,02	B	41,37	± 0,85	A
Digestibilidad (%)	0,0091	58,29	± 0,87	A	59,65	± 0,92	A	61,2	± 0,79	A	56,44	± 0,66	B

PC= Proteína cruda; EE= Extracto etéreo; FC= Fibra cruda; FDA= Fibra detergente ácida

Letras diferentes en cada fila expresan diferencias estadísticas, según la prueba DGC al 5% de nivel de significancia

Como se puede observar en la Tabla 16, para los tenores de Proteína Cruda, ceniza, Fibra Cruda, Fibra Detergente Ácida (FDA) y Digestibilidad, existen evidencias estadísticas (p -valor $<0,05$) que demuestran las diferencias entre los pastos de los sistemas ganaderos estudiadas; es decir, la condición nutricional de los pastos varía de acuerdo con el tipo de sistema ganadero. Sin embargo, para el tenor extracto etéreo, resulta que no se logra identificar diferencias significativas (p -valor $>0,05$) entre los pastos de cada sistema ganadero. Con respecto al porcentaje de proteína, los pastos del sistema ganadero 1 (pasto mejorado), sistema ganadero 2 y sistema ganadero 3 (pastos naturales) logran acumular mayor proteína que el pasto del sistema ganadero 4 (pasto natural y con degradación muy severa), que presenta la menor acumulación de proteína. De similar forma ocurre con el porcentaje de digestibilidad de los pastos.

Precisamente este último sistema ganadero posee una pastura con condición de degradación muy severa, versus el nivel de degradación de la pastura del sistema ganadero 1 con degradación leve. Caso contrario ocurre con el contenido de fibra, el cual los pastos de las sistemas ganaderos 2 y 4 contienen mayor fibra que los pastos de los sistemas ganaderos 1 y 3. Por otra parte, los pastos de la sistema ganadero 1 son pastos mejorados (gramíneas o C4), por lo que los resultados coinciden con lo señalado por Vargas et al. 2012, cuando indica que los pastos mejorados, si se comparan con especies naturales, presentan diferencias nutricionales como digestibilidad, proteína cruda, materia seca (mayor biomasa) y fibra detergente neutra (% de pared celular) que estas presentan.

Por otra parte, los sistemas ganaderos 2 y 3, tienen en sus pastos una asociación de gramínea (pasto natural) y una leguminosa (*Calopogonum muconoides*), siendo estas causas que permite que el pasto evaluado presente similares condiciones de calidad de los pastos. Esto lo confirma Van Soest (1994) y Vargas et al. (2012), cuando indican que las plantas leguminosas (C3) están compuestos por una mayor proporción de tejidos de alta digestibilidad respecto a las plantas C4 (gramíneas).

La Figura 24 describe gráficamente las diferencias entre los pastos de los sistemas ganaderos evaluadas en cuanto a proteína cruda (%), Fibra detergente ácida (% FDA) y la digestibilidad (%). Como puede observarse el pasto natural del sistema ganadero 4, que corresponde a una pastura con degradación muy severa, presenta menor contenido de proteína y de la digestibilidad de esta, a comparación de los pastos de los otros sistemas ganaderos. Con respecto al contenido de la Fibra detergente ácida (FDA), que corresponde al contenido de celulosa y lignina, componentes de la pared celular, el pasto del sistema ganadero 4 presenta mayores tenores que demuestran la baja calidad de este pasto.

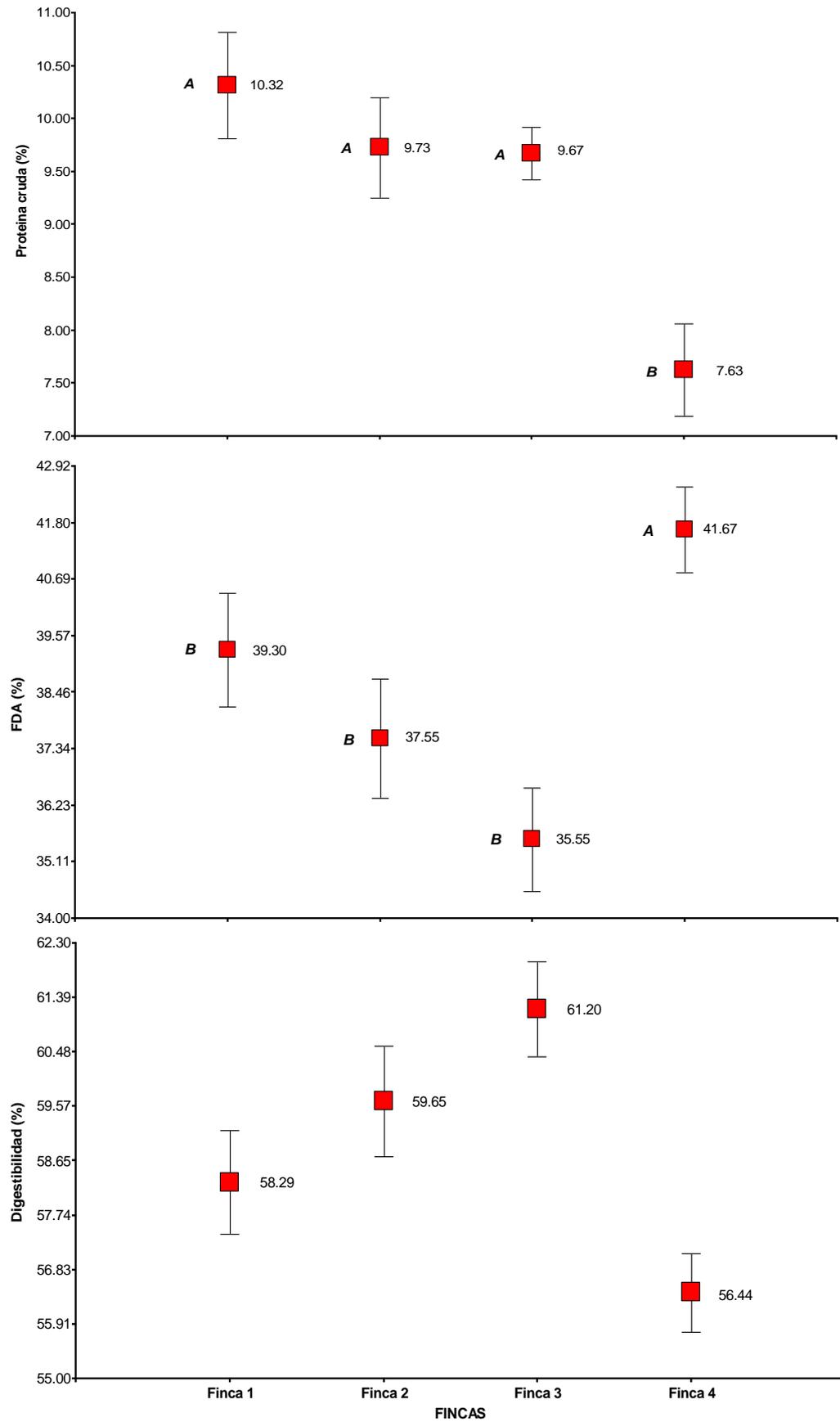


Figura 24. Proteína, FDA y digestibilidad de los pastos por tipo de sistema ganadero

4.2.5. Análisis físico y químico del suelo

a. Temperatura y compactación del suelo

La temperatura evaluada resultó de dos profundidades (15 y 30 cm) teniendo tres repeticiones. Por otra parte, la compactación se realizó con el penetrómetro cuya unidad está expresada en libras por pulgada al cuadrado (psi en sus siglas en inglés). Los resultados se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Temperatura de suelo a dos profundidades y compactación del suelo

SISTEMA GANADERO	Nivel de degradación de pasturas	Temperatura del suelo (°C)				Compactación (psi)	
		15 cm		30 cm			
Sistema ganadero 1	Leve	25,79	± 0,37 B	25,01	± 0,09 C	187,75	± 4,42 B
Sistema ganadero 2	Leve-severa	26,03	± 0,27 B	25,98	± 0,12 B	200,00	± 9,94 B
Sistema ganadero 3	Severa	26,16	± 0,63 B	25,73	± 0,31 B	186,00	± 9,35 B
Sistema ganadero 4	Muy severa	27,83	± 0,48 A	27,11	± 0,14 A	229,13	± 14,59 A
p-valor		0,0156		<0,0001		0,0211	

Letras diferentes en las mismas columnas indican diferencias estadísticas, según prueba DGC al 5 % de nivel de significancia

La Tabla 17 indica que con respecto a la temperatura de suelo a dos profundidades de evaluación (15 y 30 cm) muestran diferencias estadísticas (p-valor <0,05) entre los sistemas de producción ganadera evaluados, mostrando mayor temperatura en las dos profundidades del sistema ganadero 4, que representa al sistema con un nivel muy severa de degradación de sus pasturas, sin presencia de árboles, a comparación de los otros sistemas ganaderos. Solo a 30 cm de profundidad del sistema ganadero 1, que representa al sistema con una leve degradación de pasturas y con presencia de árboles (capirona a una densidad de 6 x 9 metros, presenta la menor temperatura que el resto de los sistemas ganaderos.

Con respecto a la compactación del suelo (Figura 25) que describe la misma tabla, el sistema ganadero 4 presentó mayor compactación que el resto de los sistemas ganaderos, estadísticamente diferenciados (p-valor <0,05). Los valores de compactación se ajustan a un rango de valoración. Ese rango considera que una compactación entre 0 a 200 psi,

una condición buena para el cultivo; mientras que los valores entre 200 y 300 psi, una condición regular para el cultivo, por presentar una compactación moderada.

Estos resultados coinciden con lo indicado por Feijóo et al. (2004) donde señala que la presencia de árboles en pasturas genera temperaturas favorables en el suelo para la actividad biológica del suelo, lo cual significa mayor mineralización y disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Asimismo, Herrick y Jones (2002) señala que el nivel de compactación del suelo limita el crecimiento radicular y la cantidad de agua y aire disponible para los pastos, del cual se desprende la baja producción de biomasa. Tanto Harvey (2003) como Alonso (2003) indican que una de las ventajas de la presencia de árboles en potreros es la reducción de la compactación del suelo, es por lo que el sistema ganadero 1, presenta menor compactación del suelo.

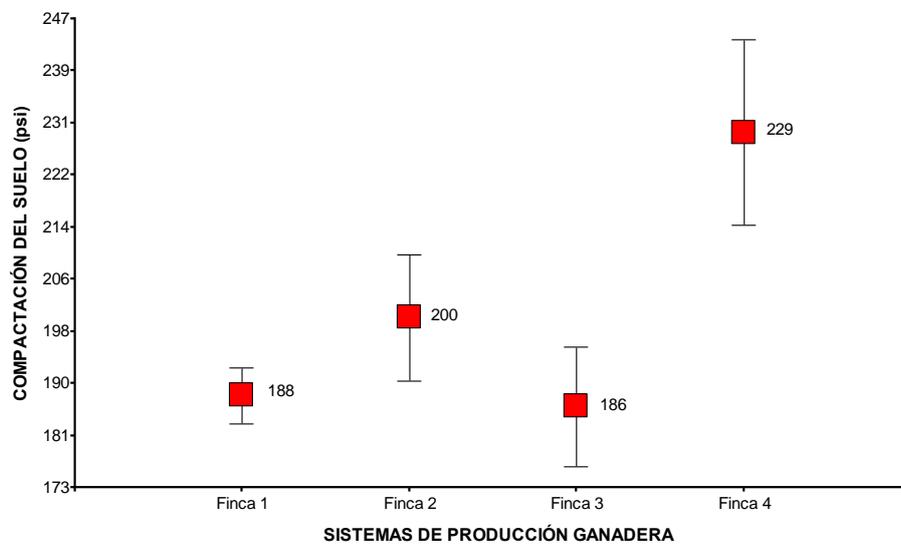


Figura 25. Nivel de compactación de los suelos en los cuatro sistemas de producción ganadera

b. Macronutrientes

Según la Tabla 18, los tenores de pH describen suelos ácidos para los cuatro tipos de suelos que corresponden a cada sistema de producción ganadera, sin embargo, cabe destacar que para el suelo del sistema ganadero 1, este resulta moderadamente ácido, mientras que el resto de los sistemas describen suelos fuertemente ácidos. Con respecto al contenido de Materia orgánica (%), los tenores indican también diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) entre los cuatro tipos de suelos, teniendo un contenido medio para los suelos de los sistemas ganaderos 1, 2 y 3, teniendo el suelo del sistema ganadero 4 un tenor bajo. Para el tenor de Nitrógeno (%), tiene el mismo resultado que la materia orgánica. Para el contenido de fósforo (ppm), se observará que existen diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$), mostrando mayor fósforo en el suelo del sistema ganadero 3 que en el resto de los suelos de los demás sistemas ganaderos. Para el contenido de potasio (ppm) no se logra identificar diferencias estadísticas (p -valor $>0,05$) entre los tipos de suelos de los sistemas de producción ganadera.

Tabla 18. Valores de los tenores de macronutrientes en los cuatro suelos correspondientes a los sistemas de producción ganadera (media \pm error estándar).

SISTEMA GANADERO	Nivel de degradación de pastos	pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
Sistema ganadero 1	Leve	5,77 \pm 0,16 A	2,74 \pm 0,08 A	0,14 \pm 0,01 A	10,31 \pm 0,32 B	104,6 \pm 4,92 A
Sistema ganadero 2	Leve -severa	4,89 \pm 0,09 B	2,33 \pm 0,03 B	0,12 \pm 0,01 B	10,17 \pm 0,43 B	86,21 \pm 0,66 A
Sistema ganadero 3	Severa	4,65 \pm 0,06 B	2,31 \pm 0,03 B	0,11 \pm 0,01 B	13,46 \pm 0,16 A	112,3 \pm 7,36 A
Sistema ganadero 4	Muy severa	4,59 \pm 0,17 B	1,92 \pm 0,15 C	0,09 \pm 0,01 C	10,55 \pm 0,51 B	80,88 \pm 21,16 A
P-valor		0,0008	0,0012	0,0009	0,0008	0,2476

Letras diferentes en las mismas columnas indican diferencias estadísticas, según prueba DGC al 5 % de nivel de significancia

Tal como lo señala Luna et al. (2010), la mayor disponibilidad de materia orgánica en el suelo tiende a elevar el pH, quien considera la sombra proporcionada por los árboles, una fuente de mayor materia orgánica y por ende mejor pH del suelo. Es importante indicar, con respecto al pH del suelo, lo mencionado por INTAGRI (2018), que estos influyen sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas y que existe un rango muy estrecho para una eficiente disponibilidad.

c. Interpretación del análisis de suelo

Los suelos del Sistema ganadero 1, que describía para sus pasturas una degradación leve, son suelos francos, con un pH moderadamente ácido (5,77), con un contenido medio de materia orgánica y nitrógeno (2,74% y 0,14% respectivamente). Tiene un contenido medio tanto para los tenores de fósforo y potasio (10,331 y 104,6 ppm respectivamente).

Los suelos del Sistema ganadero 2, que describía para sus pasturas una degradación leve-severa, son suelos francos fuertemente ácidos (pH = 4,89), con tenores medios de materia orgánica y nitrógeno (2,33 y 0,12 % respectivamente). Con respecto al contenido de fosforo presenta un contenido medio (10,17 ppm), mientras que para los tenores de potasio presenta un contenido bajo (86,21 ppm).

Los suelos del Sistema ganadero 3, que describía para sus pasturas una degradación severa, son suelos francos fuertemente ácidos (4,65 pH). Los tenores de materia orgánica y nitrógeno presentan un contenido medio (2,31 y 0,11 % respectivamente), al igual que los tenores de fósforo y potasio (13,46 y 112,29 ppm).

Los suelos del Sistema ganadero 4, que describía para sus pasturas una degradación muy severa, son suelos francos fuertemente ácidos (4,59 pH). Los tenores de materia orgánica y nitrógeno son bajos (1,92 y 0,09 %); mientras que para el tenor de fosforo presenta un contenido medio (10,55 ppm) y un contenido bajo para el tenor de potasio (80,88 ppm).

4.2.6. Variables climáticas

Tabla 19. Variables climáticas registradas desde el 2018 al 2019

Año	Mes	Temperatura media (°C)	Precipitación (mm)	HR (%)	Horas sol	Velocidad de viento Km/hora
2018	PROMEDIO	25,4	2 641,6	84,9	530,6	17,4
	Enero	25,4	225,2	85	358,7	11,6
	Febrero	25,3	285,2	84	348,5	12,4
	Marzo	25,6	483,7	85	385,4	12,4
	Abril	25,8	119,5	84	378,5	12,6
	Mayo	25,9	122	84	441,4	14,2
	Junio	25,6	224	84	378,5	12,6
2019	Julio	25,2	91,6	84	420,8	13,6
	Agosto	25,3	41,5	82	554,2	17,9
	Setiembre	25,9	104,7	82	547,4	18,2
	Octubre	25,6	275,1	84	458	14,8
	Noviembre	25,3	159,5	82	363,8	12,1
	Diciembre	25,5	416,5	86	267,8	8,6
	PROMEDIO	25,5	2 548,5	83,8	408,6	13,4

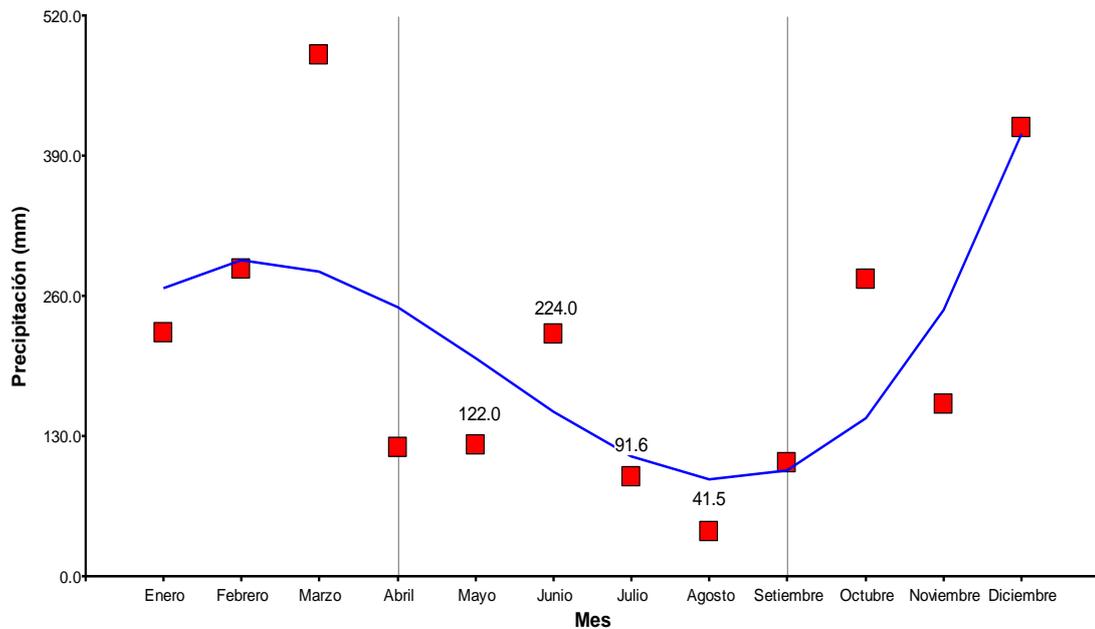


Figura 26. Comportamiento de la precipitaciones (mm) mensuales durante el 2019 y el periodo de evaluación.

La Tabla 19 describe las principales variables climáticas registradas desde el 2018 y el 2019. Con respecto a la precipitación (mm) la Figura 26 detalla el comportamiento mensual durante el 2019, haciendo referencia que durante los meses de evaluación (mayo a agosto) se presenta los menores registros de precipitación correspondiendo al periodo seco del año. La curva de tendencia de las lluvias describe el comportamiento.

4.3. Estimación de las emisiones de metano a través del LIFE-SIM de cada sistema identificado

4.3.1. Variables necesarias para la utilización del software de estimación de metano LIFE-SIM

Las variables necesarias para las estimaciones de producción de metano, se basan, por una parte a variables climáticas (Temperatura, Humedad y Velocidad de Viento) y a variables concernientes a la calidad de los pastos (Biomasa, Digestibilidad y Proteína Cruda). Pese a que las evaluaciones solo se hicieron durante cuatro meses, se extrapoló a resto del año, considerando una relación directa de la precipitación (mm) mensual con la disponibilidad de biomasa (kg MS/ha) (Betancourd 2007).

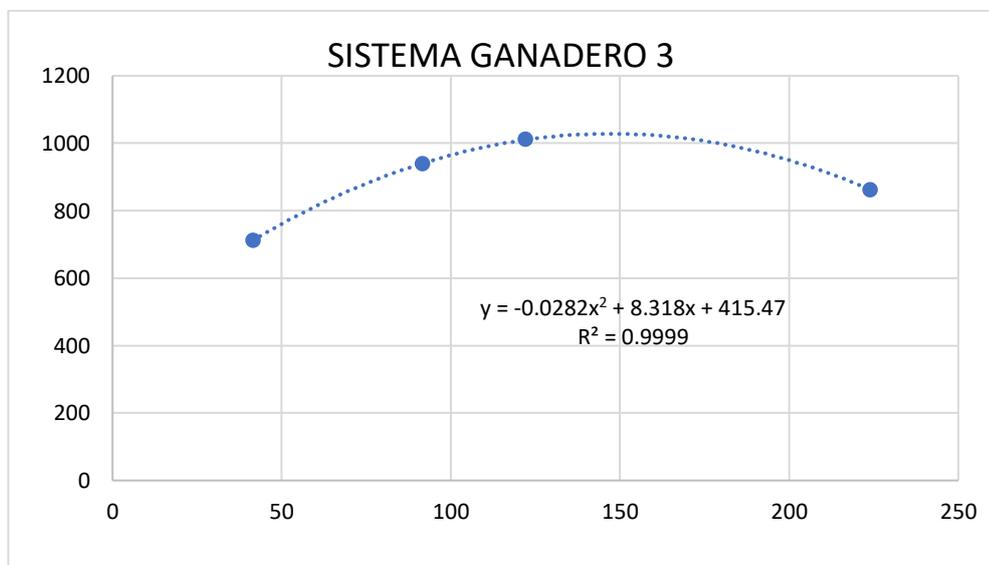
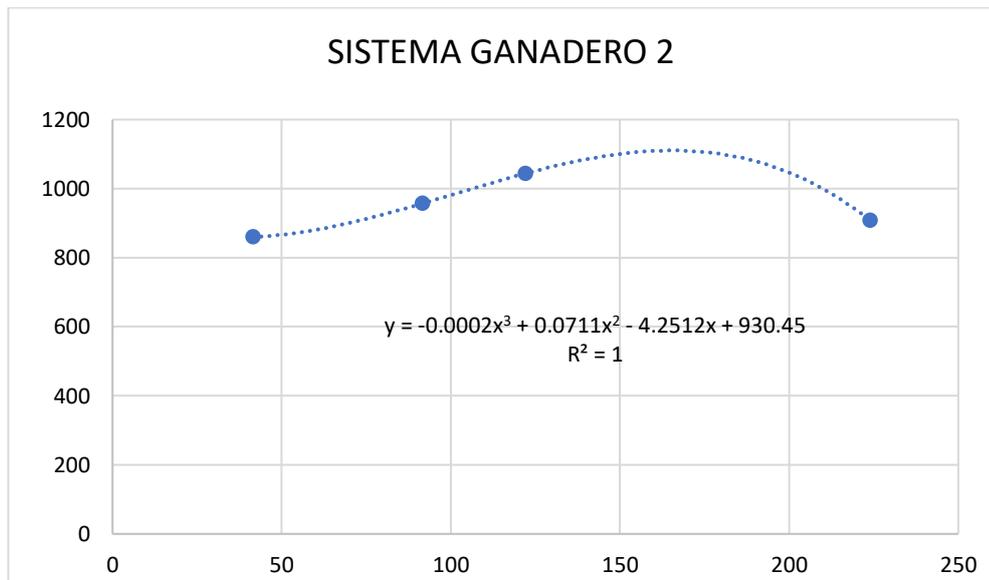
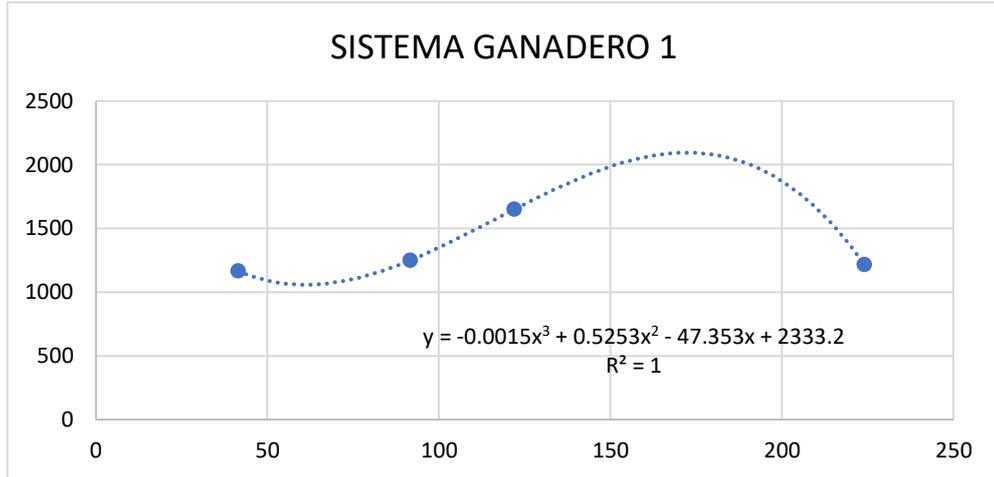
Tabla 20. Variables climáticas para la estimación de metano

Mes	Temperatura media (°C)	HR (%)	Velocidad de viento (km/h)
Enero	25,4	85	11,6
Febrero	25,3	84	12,4
Marzo	25,6	85	12,4
Abril	25,8	84	12,6
Mayo	25,9	84	14,2
Junio	25,6	84	12,6
Julio	25,2	84	13,6
Agosto	25,3	82	17,9
Setiembre	25,9	82	18,2
Octubre	25,6	84	14,8
Noviembre	25,3	82	12,1
Diciembre	25,5	86	8,6

Tabla 21. Biomasa (Kg MS/ha) durante el año para las cuatro sistema ganaderos

MES	PP (mm)	Sistema ganadero 1	Sistema ganadero 2	Sistema ganadero 3	Sistema ganadero 4
Enero	225,2	1 178,4	1 294,7	858,5	328,6
Febrero	285,2	1 551,4	1 155,6	1 097,6	416,8
Marzo	483,7	2 631,2	1 959,9	1 861,5	706,9
Abril	119,5	1 616,2	1 096,5	1 006,8	174,6
Mayo	122	1 650,0	1 043,8	1 011,4	533,6
Junio	224	1 218,5	907,6	862,1	327,4
Julio	91,6	1 250,0	957,2	938,9	348,8
Agosto	41,5	1 165,5	859,7	712,5	271,8
Setiembre	104,7	1 412,1	1 035,2	977,2	153,0
Octubre	275,1	1 496,5	1 114,7	1 058,7	402,0
Noviembre	159,5	2 057,6	1 249,6	1 024,8	233,1
Diciembre	416,5	2 265,7	1 687,6	1 602,9	608,7
Biomasa anual (kg/ha/año)		19 493,1	14 362,2	13 012,9	4 505,2
Biomasa disponible (Kg/ha/año)		13 645,1	10 053,5	9 109,0	3 153,6
UA/ha/año		3,1	2,3	2,1	0,7

La Tabla 20 detalla las variables climáticas necesarias dentro del software LIFE-SIM para la estimación de metano. La Tabla 21, muestra la disponibilidad de biomasa (kg MS/ha) durante los meses de evaluación (mayo, junio, julio y agosto) en cada sistema ganadero y los meses no determinados se extrapolaron haciendo uso de ecuaciones lineales teniendo como regresora la precipitación y la biomasa como variable respuesta (Figura 27). Para los meses en que la precipitación esta fuera del rango de la regresión lineal se estimaron mediante regla de proporciones, considerando fijo el mes de mayor precipitación. Asimismo describe la cantidad de biomasa disponible (fuera de la pérdida por pastoreo, que en este caso es 30% de pérdida) y la carga animal que soportaría una hectárea de esta pastura; como puede observarse las pasturas de la Sistema ganadero 1 pueden tener una carga de 3,1 UA (unidad animal de 400 kg de peso vivo); mientras que la sistema ganadero 4 solo tiene una carga de 0,7 UA.



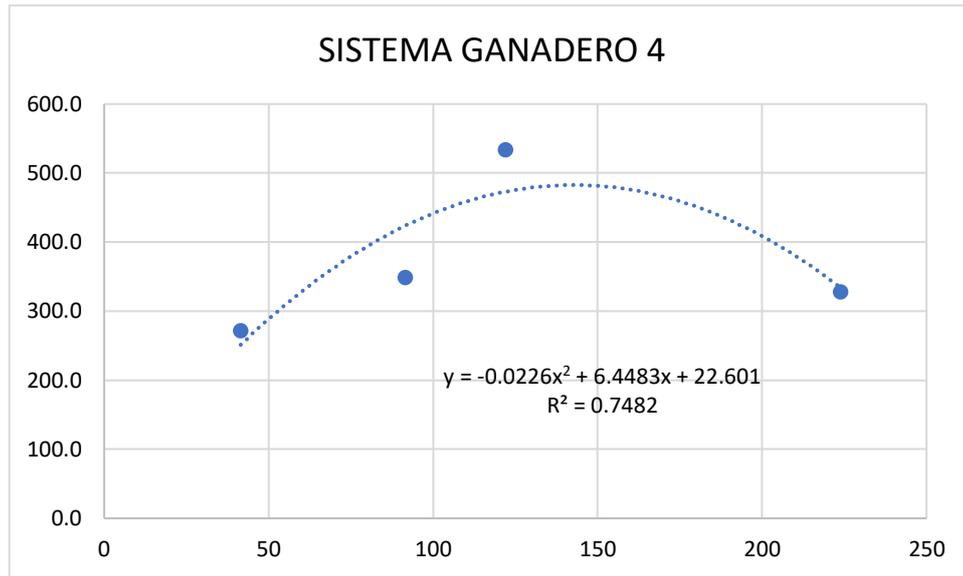


Figura 27. Modelo de tendencia para biomasa

La Tabla 22 y 23, muestran la proteína cruda (%) y la digestibilidad (%) de los pastos respectivamente, donde se extrapoló para todo el año, aplicando la media de los valores que se tuvieron resultados (mayo, junio, julio y agosto).

Tabla 22. Proteína cruda (%) de los pastos extrapolados para el año en las cuatro sistema ganaderos

Mes	Sistema ganadero 1	Sistema ganadero 2	Sistema ganadero 3	Sistema ganadero 4
Enero	10,32	9,73	9,67	7,63
Febrero	10,32	9,73	9,67	7,63
Marzo	10,32	9,73	9,67	7,63
Abril	10,32	9,73	9,67	7,63
Mayo	9,71	8,63	8,93	7,20
Junio	9,22	10,38	9,89	6,62
Julio	11,29	9,25	9,98	8,52
Agosto	11,05	10,65	9,89	8,17
Setiembre	10,32	9,73	9,67	7,63
Octubre	10,32	9,73	9,67	7,63
Noviembre	10,32	9,73	9,67	7,63
Diciembre	10,32	9,73	9,67	7,63

Tabla 23. Digestibilidad (%) de los pastos extrapolados para el año en las cuatro sistema ganaderos.

Mes	Sistema ganadero 1	Sistema ganadero 2	Sistema ganadero 3	Sistema ganadero 4
Enero	58,29	59,65	61,20	56,44
Febrero	58,29	59,65	61,20	56,44
Marzo	58,29	59,65	61,20	56,44
Abril	58,29	59,65	61,20	56,44
Mayo	57,38	57,98	61,43	55,38
Junio	56,55	58,94	58,89	55,36
Julio	58,68	59,41	62,32	56,94
Agosto	60,54	62,27	62,16	58,09
Setiembre	58,29	59,65	61,20	56,44
Octubre	58,29	59,65	61,20	56,44
Noviembre	58,29	59,65	61,20	56,44
Diciembre	58,29	59,65	61,20	56,44

4.3.2. Estimación de producción de metano en los cuatro escenarios (sistemas ganaderos)

Para estimar la producción de metano partimos de un escenario común. Se tiene un torete (animal macho) de 300 kg de peso vivo. De raza no definida, considerada como cruce. Este animal consume diariamente 9 kg de materia seca (3% de su peso vivo). Se evaluará la ganancia de peso durante un año de simulación, así como su producción de metano por el animal tanto en litros como en kilogramos. Para cada sistema ganadero (escenario) se realizaron cinco repeticiones.

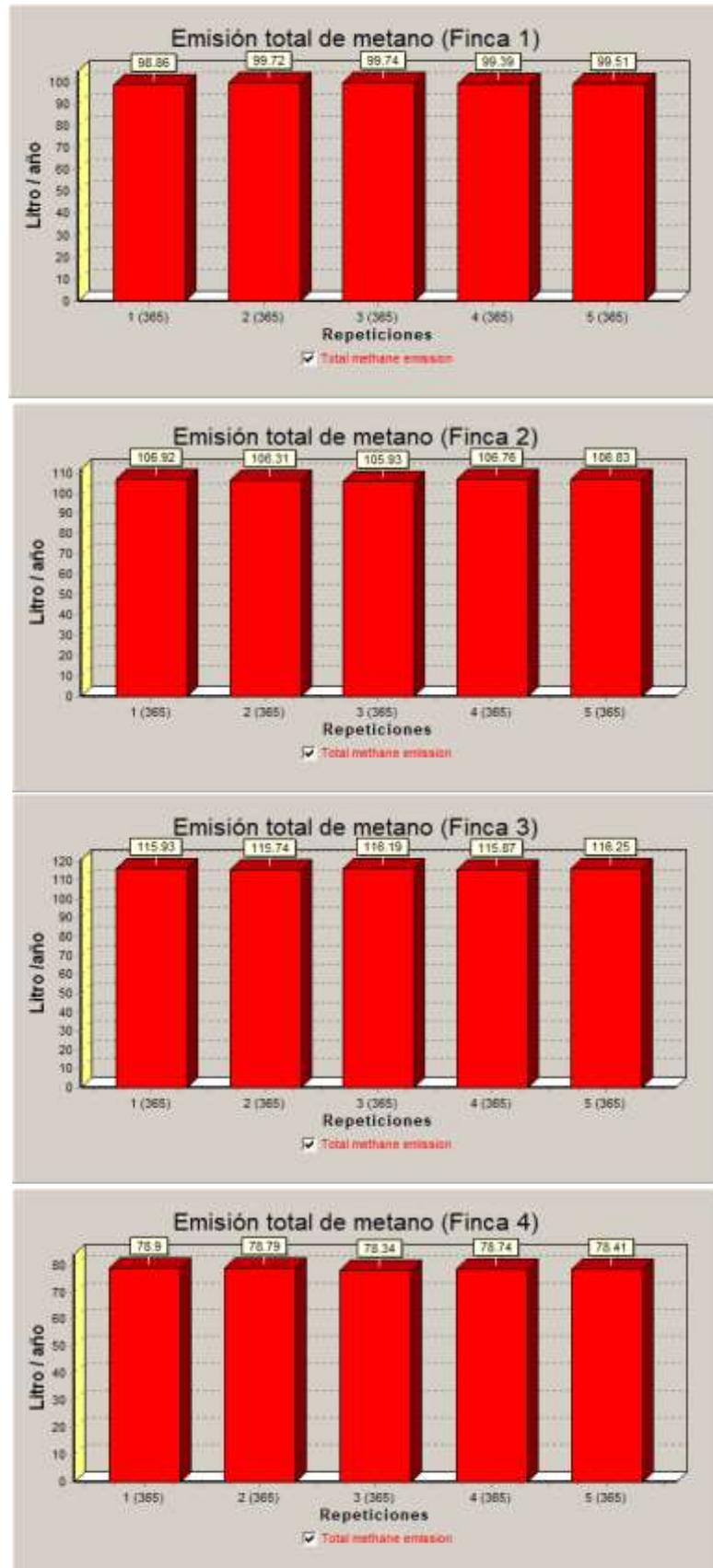


Figura 28. Producción de metano (litros/año) por cada Sistema ganadero

La Tabla 24 detalla las diferencias de medias y los resultados de la inferencia estadística.

Tabla 24. Promedios de ganancia de peso (kg) y producción de metano tanto en litros como por kilogramos (media \pm error estándar)

SISTEMA GANADERO	Ganancia de peso vivo (kg)		Producción de Metano (L/año)		Producción de Metano (kg/año)	
Sistema ganadero 1	224,21 \pm 0,39	C	99,44 \pm 0,16	C	71,20 \pm 0,12	C
Sistema ganadero 2	245,61 \pm 0,47	B	106,55 \pm 0,19	B	76,29 \pm 0,13	B
Sistema ganadero 3	272,99 \pm 0,23	A	116,00 \pm 0,10	A	83,05 \pm 0,07	A
Sistema ganadero 4	124,79 \pm 1,28	D	78,64 \pm 0,11	D	56,30 \pm 0,08	D
P-valor	<0,0001		<0,0001		<0,0001	

Letras en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba DGC al 5% de nivel de significancia.

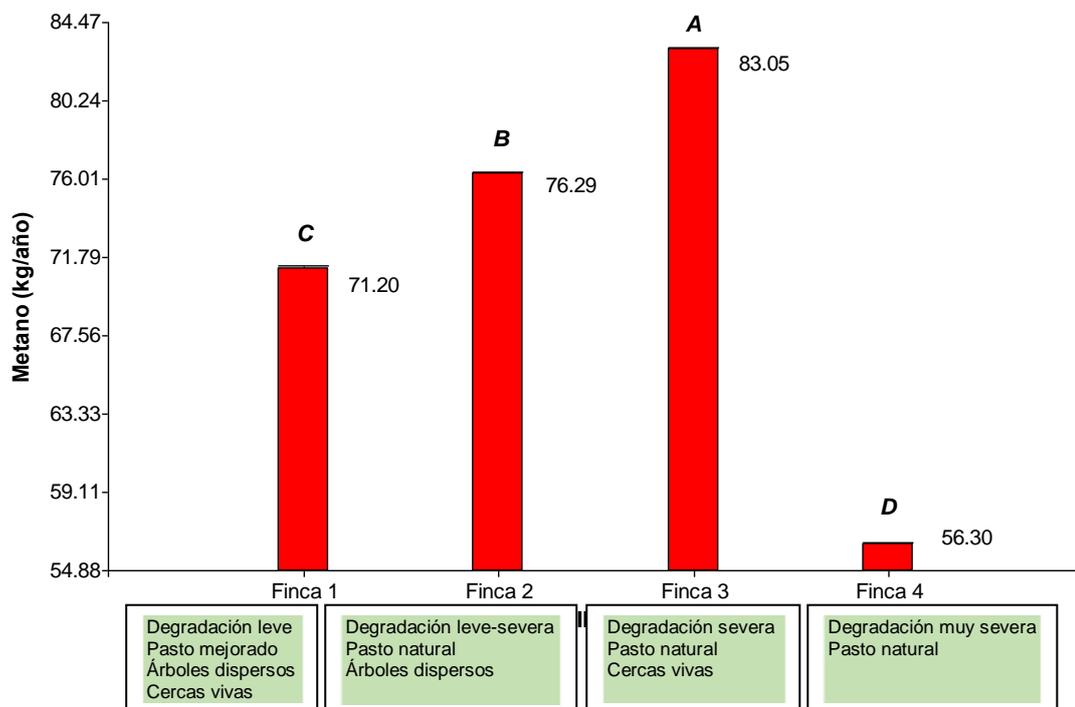


Figura 29. Producción de metano (litro/año) por tipo de sistema ganadero

Tanto la Tabla 24 así como la Figura 29 describe la simulación de producción de metano en cuatro escenarios posibles. Existe una clara y evidencia diferencia

estadística (p -valor $<0,05$) entre los cuatro escenarios (sistemas ganaderos). Se observa que el sistema ganadero 3 con una degradación severa, con pasto natural y cercas vivas produce mayor metano (83,05 kilos /año) que el resto de los sistemas ganaderos; mientras que el sistema ganadero 4 produce menor metano (56,30 kilos/año), teniendo este sistema ganadero una pastura con degradación muy severa y con solo pasto natural.

Los resultados tal cual producto de la simulación, pudiesen suponer que una pastura con una severa degradación produce menor metano que los sistemas con menor degradación. Para poder entender la producción de metano, está la consideración básica que este metano producido es producto de la digestión del rumiante y por ende de la ganancia de peso que obtiene este animal.

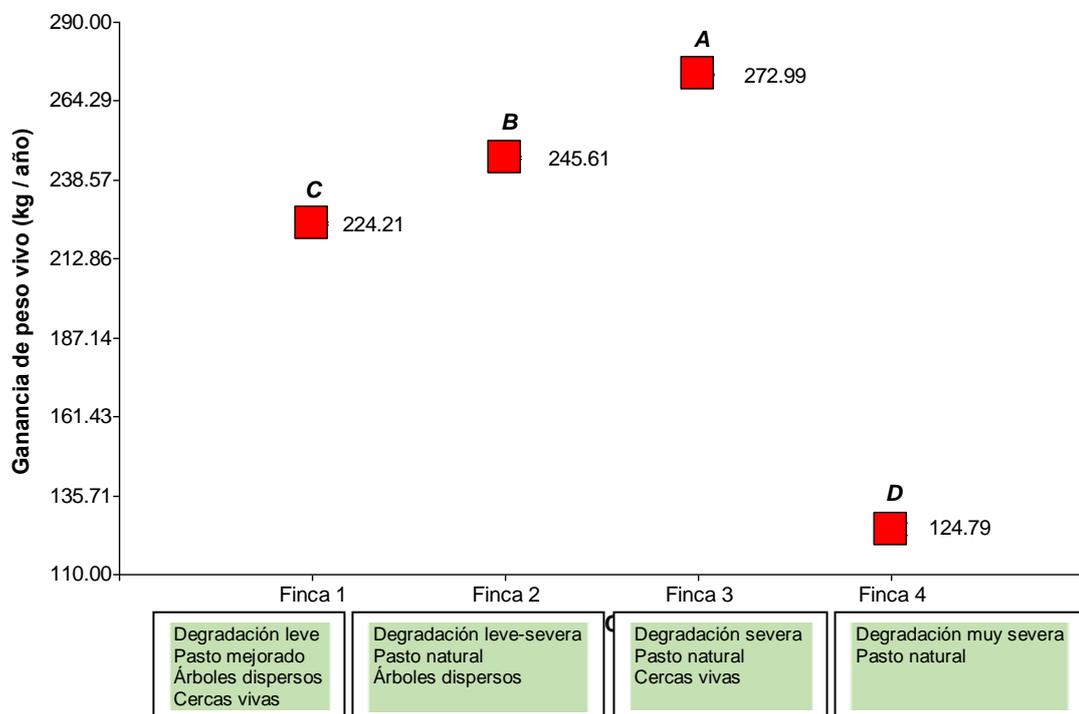


Figura 30. Ganancia de peso por sistema ganadero

La Figura 30 muestra un mismo comportamiento con la producción de metano. Por lo tanto, la producción de metano está directamente relacionada con la ganancia de peso, que se fundamenta con la regresión lineal de la Figura 31.

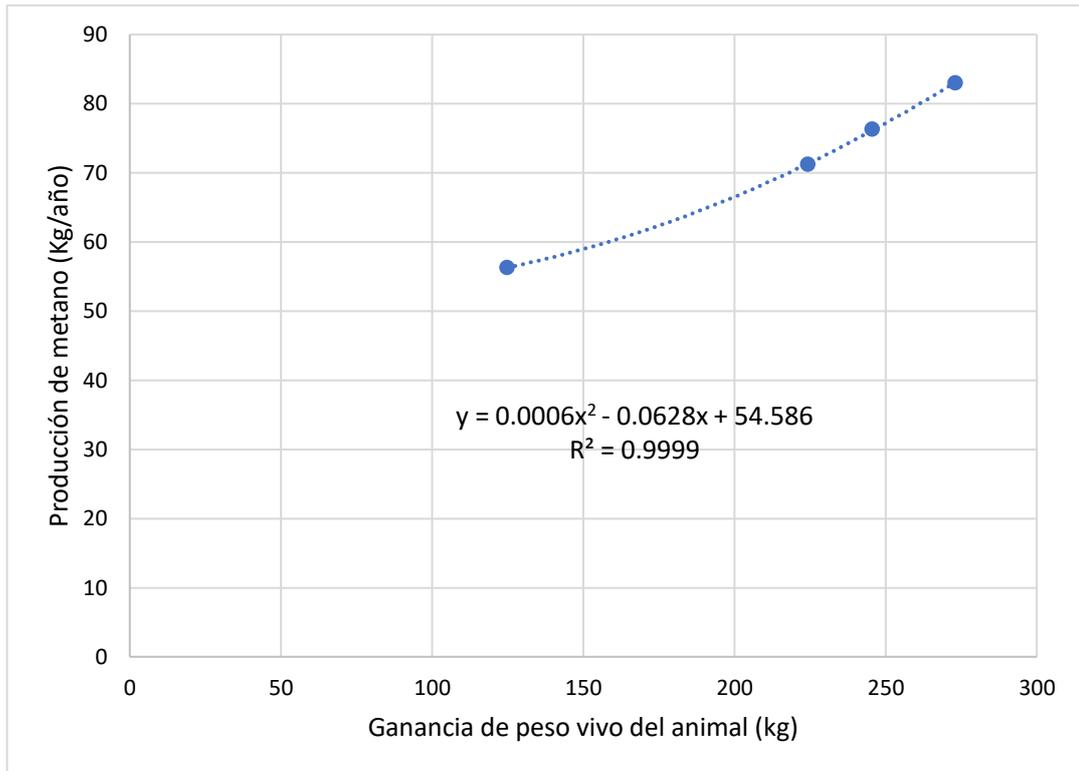


Figura 31. Dependencia entre el peso vivo ganado y la producción de metano

La Tabla 25 muestra la producción de metano por kilogramo de peso ganado por sistema y en ello se determina también diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$), que describen una mayor producción de metano (sea litros o kilos) por kilo ganado por animal. Los sistemas ganaderos 2 y 3, las que tienen pastura natural severa a leve y con árboles dispersos de regeneración natural y con cercas vivas tienen una producción similar de metano.

Tabla 25. Producción media de metano por kilogramo de peso ganado

Sistema ganadero	Ganancia de peso vivo (kg/año)	Producción metano (L/año)	Producción metano (kg/año)	Producción metano (L) por kg de ganancia de peso		Producción metano (Kg) por kg de ganancia de peso	
Sistema ganadero 1	224,21	99,44	71,2	0,44	B	0,32	B
Sistema ganadero 2	245,61	106,55	76,29	0,43	C	0,31	C
Sistema ganadero 3	272,99	116	83,05	0,42	C	0,30	C
Sistema ganadero 4	124,79	78,64	56,3	0,63	A	0,45	A
p-valor				$<0,0001$		$<0,0001$	

Letras en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba DGC al 5% de nivel de significancia

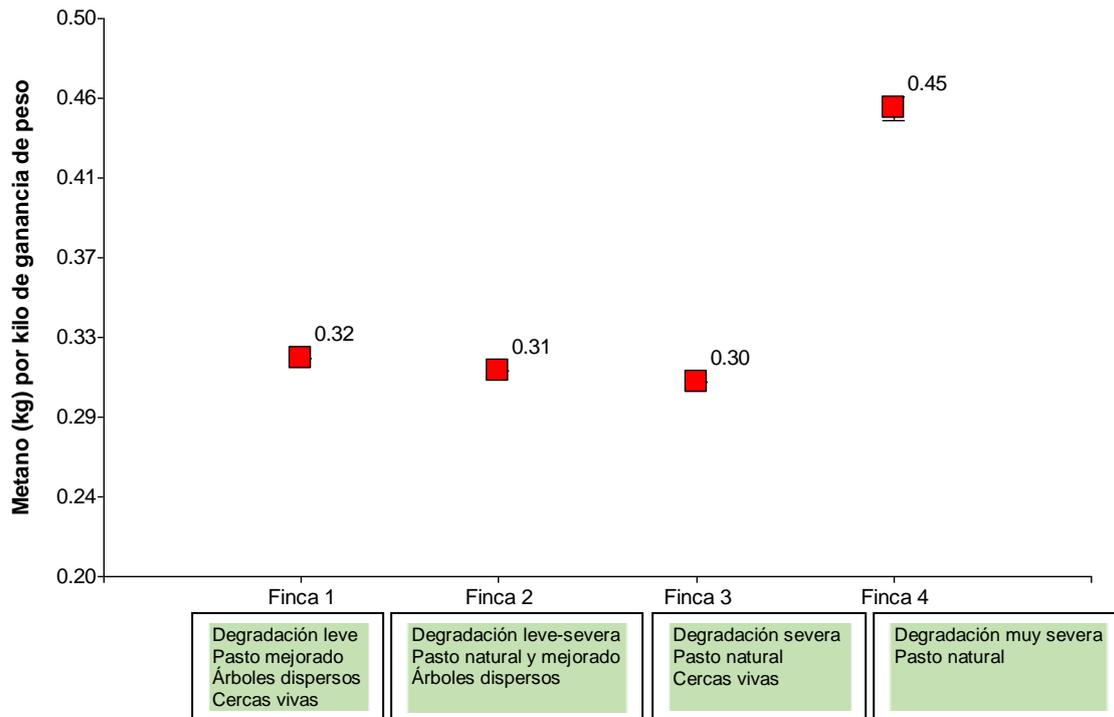


Figura 32. Metano producido (kg) por kilo de ganancia de peso logrado por animal en cuatro sistemas

Como puede verse en la Figura 32, que para lograr un kilo de ganancia de peso por el animal en estos cuatro escenarios (sistemas ganaderos) se demuestra que el sistema ganadero con el sistema de una pastura natural con una degradación muy severa tiende a producir mayor metano (kilo) para lograr un kilo animal, estadísticamente diferenciado del resto de los sistemas. Por lo tanto, podemos afirmar un comportamiento previsorio de ello (Figura 33).

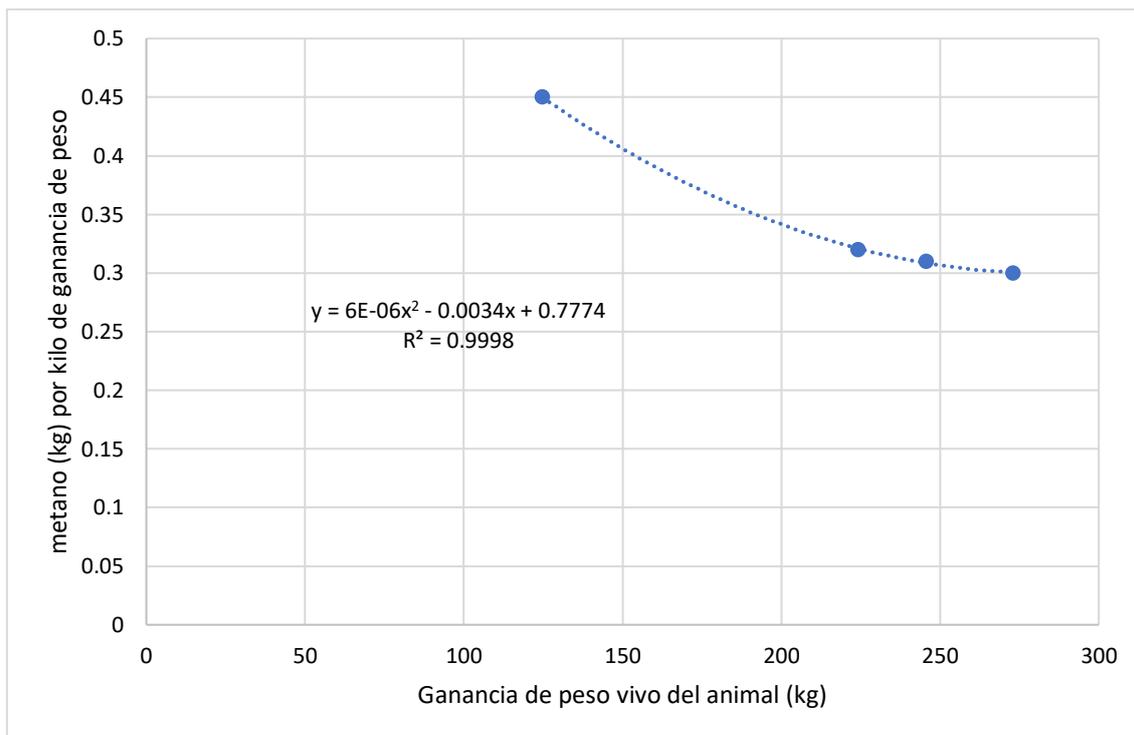


Figura 33. Regresión lineal de emisión de metano (kg) por kilo de ganancia de peso.

La metodología para aproximar las emisiones de metano se basa a un método indirecto, el cual considera fundamental las características del alimento (forraje) consumido, tal como lo describe Carmona et al. (2005), cuando señala que las características de las dietas son consideradas en la predicción de las emisiones de metano, donde sobresalen: la digestibilidad, la fibra detergente neutra, la materia seca y la proteína. Sin embargo, De Blas et al. (2003) considera que las emisiones de metano corresponden tanto a factores intrínsecos del animal (edad, raza, estado reproductivo y productivo, así como estados de salud) y extrínsecos relacionados tanto al alimento consumido como el medio donde se encuentra.

Por ello el modelo de simulación utilizado (LIFE-SIM), diseñado por León-Velarde et al. (2006). Que son métodos de simulación para las estrategias de alimentación en ganadería, incluye variables del propio animal, variables climáticas y variables de los pastos. Estos son calculados o estimados durante un año. Estas variables son mostradas en las Tablas 20, 21, 22 y 23.

Los resultados de esta simulación corresponden a la comparación de cuatro escenarios (para nosotros cada escenario corresponde al sistema ganadero en estudio), siendo el escenario 1 el sistema ganadero 1 y así sucesivamente. Se desarrollaron cinco repeticiones

por escenario. La Tabla 24 muestra las estimaciones de emisión de metano (tanto en litro y kilo por año) por cada escenario (sistema ganadero); así como la ganancia de peso lograda al año sobre una base de un torete de 300 kilos inicialmente.

Con respecto a la producción de metano se observa que mayor producción de metano (sea en litro o kilo) se produce en el sistema ganadero 3, seguida del sistema ganadero 2 y el sistema ganadero 1, logrando el sistema ganadero 4 producir menor metano al año. Estas producciones de metano están sin duda en el marco referencial, tal es así que para Kinsman et al. (1995) las emisiones de metano para animales en vías de desarrollo están en 55 Kg CH₄/año/animal; por otro lado, el trabajo realizado por Moscoso et al. (2017) en animales del altiplano peruano en sistemas de pastoreo, reflejan similares resultados en cuanto logran de 59 a 75 kg CH₄/año/animal dependiendo de la estacionalidad de pastoreo.

Similar trabajo es reportado por Beltrán-Santoyo et al. (2016) realizado en México el cual logra determinar emisiones de 51,72 kg de CH₄/año/animal, mientras que lo obtenido reflejan menor cantidad y esa diferencia se debe a que el cálculo para la estimación se realizó en animales de 200 kg de peso vivo, en el cual la edad del animal también es un factor de reducción de gases de metano según Johnson y Johnson (1995).

Estos resultados darían la impresión de que menor metano produce un sistema con pastura con nivel de degradación muy severa (sistema ganadero 4); sin embargo, tal como mencionan Bartl et al. (2009), Johnson y Johnson (1994), que la evaluación de las emisiones de metano deben darse por unidad de producto generado, es decir para nuestro caso, la ganancia de peso, y como se observa la ganancia de peso corresponde a la misma tendencia de la producción de metano, es decir cuanto mayor ganancia de peso logrado ha significado mayor emisión de metano, tal como lo señalan Blaxter y Clapperton (1965) y Aguilera y Prieto (1991), quienes manifiestan que generalmente la cantidad de CH₄ liberada aumenta con la cantidad de alimento ingerido, aunque la tasa de producción de metano por kilo de alimento consumido puede disminuir al aumentar el nivel de alimentación.

La Tabla 25 señala la tasa de emisión de metano (litro o kilo) por ganancia de peso, mostrando que mayor tasa de emisión sucede en el sistema ganadero 4, el cual presenta una pastura natural sola y con un nivel de degradación muy severa, a comparación del resto de sistema ganaderos. Los sistemas ganaderos 2 y 3 presentan las menores tasas de emisión de metano por kilo logrado o ganado. Esto se debe probablemente a que la asociación de pastura

(gramínea y leguminosa) que tienen estas sistema ganaderos permite mejorar la calidad de la dieta, tal como lo indica Margan et al. (1988), que las plantas C3 (leguminosas) han demostrado disminuir hasta un 14% las emisiones de metano en comparación con las plantas C4 (gramíneas), debido a la alta digestibilidad que estas poseen (Vargas et al. 2012); asimismo Pinares-Patiño (2015) y Pinares-Patiño et al. (2003) atribuye a las leguminosas una serie de compuestos secundarios como taninos y saponinas que inciden positivamente en las emisiones de metano.

4.4. Propuestas técnicas para la reducción de producción de metano

Con los resultados obtenidos, podemos decir que la emisión de metano es mayor en pasturas en una condición de degradación muy severa (casos del Sistema ganadero 4) a comparación del resto de condiciones de degradación, con respecto a la cantidad de metano emitida por kilo de ganancia de peso en animales al pastoreo (Tabla 25).

Se refirió, asimismo, que una pastura en condición de degradación muy severa presenta menor calidad de la pastura. Hablar en términos de calidad de una pastura se debe tener en consideración el contenido de proteína cruda (PC), fibra cruda (FC) y digestibilidad de la pastura. Una pastura presenta mayor calidad cuando tiene mayor proteína, menor fibra y mayor digestibilidad.

Por lo tanto, reducir las emisiones de metano, incluye mejorar la calidad de la pastura.

La disponibilidad de biomasa se refiere a la capacidad del suelo en producir materia orgánica (producción primaria neta) por unidad de superficie. Así mismo, el Sistema ganadero 4 presenta poca disponibilidad de biomasa y como consecuencia menor capacidad de carga animal (Tabla 21).

En términos generales, se recomienda las siguientes propuestas técnicas:

a) Diversificar la oferta forrajera con especies de leguminosas.

Incorporar leguminosas es las pasturas es una estrategia que mejora la calidad de la oferta forrajera, por cuanto las leguminosas tienen mayor contenido proteico y mayor digestibilidad que las gramíneas. La incorporación de especies leguminosas forrajeras puede ser: *Calopogonium muconoides*, *Centroema macrocarpum*, *Desmodium*

ovalifolium, entre los más conocidos, que permite ofrecer una pastura asociada con mejor calidad. Existen también especies de leguminosas arbustivas de ramoneo que también puede establecerse, destacando la *Leucaena leucocephala* que es una especie arbustiva de hojas menudas que son aprovechadas por los animales.

De acuerdo con los resultados, la propuesta de diversificar la oferta forrajera con especies leguminosas radica en que las sistemas ganaderos que lograron menor tasa de emisión de metano fueron aquellas que tenían pasturas asociadas, además de ello, Gerber et al. (2013) también lo menciona como una alternativa de mitigación, que es de incluir especies forrajeras tanto arbóreas como arbustivas (C3), debido a que inciden significativamente en las emisiones de metano, a la par de muchos otros beneficios como reducción del estrés calórico y mayor producción. Por otra parte, incluir especies leguminosas, también lo recomienda Flores y Malpartida (1992), por cuanto mejora la calidad de la pastura.

b) Incorporar especies leñosas en los sistemas de pasturas.

La incorporación de especies leñosas en las pasturas mejora las características de los suelos y por ende sobre la producción de la biomasa. Tal como se evaluó los sistemas que cuentan con especies leñosas plantadas y de regeneración natural e inclusive cercos vivos (Sistemas ganaderos 1, 2 y 3) presentan mejor calidad del suelo y menor tasa de emisión de metano por kilo logrado en animales. La incorporación de árboles en pasturas convierte al sistema convencional ganadero en sistemas silvopastoriles, cuyos beneficios en la mejora de la fertilidad de los suelos, descompactación de los suelos y mejora la calidad de las pasturas son ampliamente demostrados. La mayoría de los sistemas ganaderos evaluados en el presente trabajo de investigación son árboles de regeneración natural sin valor comercial, pero cumplen su función básica de ser bombas de nutrientes.

c) Descompactar los suelos de pasturas.

La mayoría de los suelos de pasturas llevan más de treinta a más años de utilización, por lo tanto, el mismo uso del suelo para ganadería ha compactado los suelos. Si bien la incorporación de leñosas o árboles en las pasturas tienden a descompactar los suelos, también se puede utilizar un sistema mecánico para la descompactación, por medio de arado y rastra. Experiencias de su uso confirmaron la mejora del desarrollo radicular de los pastos, llevando con ello mayor absorción de nutrientes y mayor producción de biomasa.

d) Reducir la carga animal de acuerdo con su capacidad de carga.

La carga animal es la capacidad máxima de unidades animales (UA) que puede soportar una pastura (una hectárea). La unidad animal equivale a un animal de 400 kilos vivo. Éste consume el 3% de su peso vivo de biomasa (materia seca). Como se observó en la Tabla 25 el sistema ganadero 4 tiene una capacidad de carga de no más de una unidad animal (0.7 UA), mientras que el resto de los sistemas ganaderos soportan entre 2 y 3 UA, Esta capacidad de carga no es respetada por los ganaderos, los cuales sobrecargan sus pasturas con mayor UA de los que puede soportar, trayendo consigo, mayor compactación del suelo, menor disponibilidad de pasturas y pérdida de su calidad.

Con respecto a la óptima carga animal se basa en lo afirmado por Deramus et al. (2003), que señala que tanto la calidad de forraje disminuye con el avance de su estado fenológico, es fundamental un buen diseño rotacional y adecuadas cargas de animal en los sistemas ganaderos. Por ello, la eficiencia en la óptima carga amerita también disponer la construcción de potreros alternos para una adecuada rotación.

e) Realizar un programa de fertilización de suelos.

Tener un programa de fertilización de las pasturas puede asegurar una oferta sostenible de nutrientes. Esta oferta de nutrientes puede ser desde compuestos químicos (fertilizantes sintéticos) hasta materia orgánica. La incorporación de nitrógeno es fundamental en pasturas predominantemente de gramíneas. Así mismo la incorporación de fósforo mejora grandemente la síntesis de proteína. Entre las cantidades recomendadas puede ser una dosis entre 30 a 50 kilos de nitrógeno/ha/año; de 20 a 40 kilos de fósforo/ha/año; de igual manera para materia orgánica las dosis recomendadas van desde 10 toneladas a 40 toneladas por hectárea al año. El tipo de materia orgánica puede ser diverso desde gallinaza, vacaza, o cuyaza, es decir toda materia orgánica producto de las actividades pecuarias.

La fertilización sugerida acompaña a la pobre condición del suelo, de acuerdo con el análisis de suelos, y basados en la relación suelo-pasto-animal, es decir, un suelo con abundantes nutrientes produce abundante pasto de calidad y este a su vez adecuada ganancia de peso animal, tal como lo sugiere Van Soest (1994).

Estas recomendaciones van para los cuatro sistemas evaluados, en mayor medida para el sistema ganadero 4 que presenta una mayor degradación de sus pasturas.

VI. CONCLUSIONES

- A mayor nivel de degradación de las pasturas influye directamente sobre la emisión de metano.
- Se encontró cuatro grupos de sistema ganaderos que corresponden a cuatro niveles de degradación de sus pasturas (leve, leve-severa, severa, y muy severa).
- El sistema ganadero 1 (degradación leve) que corresponde a un sistema con pastura asociada (pasto mejorado y leguminosa) y árboles en potreros (capirona) con cercas vivas presenta mayor calidad nutricional de sus pastos a comparación del sistema ganadero 4 (degradación muy severa), con pastura natural (monocultivo) sin árboles ni cercas vivas que presenta los menores valores.
- El sistema ganadero 4 con pastura de una condición de degradación muy severa presenta mayor tasa de emisión de metano (0,45 kgCH₄/kilo producido) que el sistema ganadero 1, que presenta una pastura con degradación leve (0,32 kgCH₄/kilo producido).
- Se proponen estrategias técnicas de mejora como: diversificar la oferta forrajera con especies de leguminosas, incorporar especies leñosas en los sistemas de pasturas, descompactar los suelos y reducir la carga animal de las pasturas según su capacidad.

VII. RECOMENDACIONES

- Proponer trabajos de investigación para comparar tasa de emisiones en animales de diferentes razas y orientación productiva (carne y leche).
- Promover el establecimiento de sistemas silvopastoriles, el cual asocia especies arbustivas dentro de los potreros, los cuales pueden ser una gran medida de mitigación de las emisiones de metano en los sistemas ganaderos del trópico.
- Promover la difusión de los resultados y las propuestas técnicas de mitigación para la toma de conciencia en los ganaderos del sector.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A; Ibrahim, M; Pezo, D. 2014. Hacia un desarrollo ganadero climáticamente inteligente. (En línea) En. Lineamientos de política para el desarrollo sostenible del sector ganadero. Ciudad de Panamá. Oficina Subregional de la FAO para Mesoamérica. Ciudad de Panamá. FAO. Consultado junio 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/ai3764s.pdf>
- Aguilera, J.F; Prieto, C. 1991. Methane production in goats given diets based on lucerne hay and barley. Arch. Anim. Nutr., 41 (34): 77-84.
- Anderson, K.L; Nagaraja, T.G; Morrill, J.L; Avery, T.B; Galitzer, S.J; Boyer, J.E. 1987. Ruminant microbial development in conventionally or early-weaned calves. J. Anim. Sci., 64 (27): 1215-1226.
- Alonso, J. 2003. Factores que intervienen en la producción de biomasa de un sistema silvopastoril (*Leucaena leucocephala* vs Perú) y guinea (*Panicum maximum* vs Likoni). Resumen de tesis presentada en opción al grado de Dr. en Ciencias Agrícolas. ICA. La Habana, Cuba. 35 p.
- Altieri, M.A. 2002. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Guaíba: Agropecuaria. 592 p.
- Attwood, G. 2014. Exploring rumen methanogen genes to identify targets for methane mitigation strategies in: Aspin, M; Lambert, G. and Larking, K. (Eds.), 5 Year Science Progress Report 2007-2012. Pastoral Greenhouse Gas Research Consortium, Wellington, New Zealand. p. 41-42.
- Azevedo, V; Lima, D; Correia, E; Aquino, A. 2000. Fauna do solo em diferentes sistemas de plantio e manejo no planalto medio do Rio Grande do Sul. Biodinâmica do solo. 65 p.
- BANCO MUNDIAL. 2016. Informe anual. Consultado 16 junio 2021. Disponible en: <http://www.worldbank.org/annualreport>.

- Bartl K.; Mayer, A; Gómez, C; Muñoz, E; Hess, H.D; Holmann, F. 2009. Economic evaluation of the current and alternative dual-purpose cattle systems for smallholder farms in the central Peruvian highlands. Aceptado en *Agricultural Systems*. 198 p.
- Bateman, J. 1970. *Nutrición animal: Manual de métodos analíticos*. Herrero Hnos., México D.F. 468 p.
- Beauchemin, KA; Kreuzer, M; O'mara, F; Mcallister, TA. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. (On line) *Australian Journal of Experimental Agriculture*. Consultado: junio 2021. Disponible en: ftp://s173-183-201-52.ab.hsia.telus.net/Inetpub/wwwroot/DairyScience/Resources/Research/AJEA48/AJEA48_21.pdf
- Benavides, HO; León, GE. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y cambio climático (en línea). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Consultado 5 junio 2021. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-11cf15f06dd>
- Beltrán-Santoyo, M; Álvarez-Fuentes, G; Pinos-Rodríguez, J; Contreras-Servín, C. 2016. Emisiones de metano en los sistemas de producción de leche bovina en el valle de San Luis Potosí, México. *Agrociencias* 50:297-305
- Berra, G; Valtorta, SE; Finster, L; Mangano, E; Barrera, F; Fraingi, L. 2007. A simple technique for measuring enteric methane emissions in cows. (On line) *Aust. J. Experim. Agric.* Consultado 16 junio 2021. 48 p. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/283137029_A_simple_technique_for_measuring_enteric_methane_emissions_in_cows.
- Berra, G; Bualó, RA; Finster, L; Zeitune, G; Valtorta, SE. 2009. Uso de la telemetría para medir la producción de gas en el rumen (en línea). *Revista FAVE Sección Ciencias Veterinarias* Vol 9, No 1 (Año: 2010), Sección Ciencias Veterinarias. Consultado 16 junio 2021. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/ojs/index.php/FAVEveterinaria/article/view/1496>

- Berra, G; Bualó, RA; Finster, L; Zeitune, G; Valtorta, SE. 2012. Desarrollo de un sistema de medición de metano entérico por telemetría a través de una cánula intranasal (en línea). Instituto de Patobiología CICVyA INTA Castelar CONICET. Consultado 16 junio 2021. Proyecto nacional de nutrición animal. p15-20. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_cap_1_pdf_baja_a.pdf
- Betancourt, H; Pezo, D; Cruz, J; Beer, J. 2007. Impacto bioeconómico de la degradación de pasturas en fincas de doble propósito en El Chal, Petén, Guatemala. *Pastos y Forrajes*. 30(1): 169-175.
- Blaxter, K.L; Clapperton, J.L. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Brit. J. Nutr.*, 19: 511-522.
- Brown, L. 2003. Pastos mundiales se deterioran solo pressao crescente. [En línea]. Consultado: 20 junio 2021. Disponible: <http://www.wwluma.org.br/>.
- CAR (Climate Action Reserve-livestock) 2016. Livestock Project Protocol. (On line) consultado: 24 junio 2021. Disponible en: <http://www.climateactionreserve.org/how/protocols/us-livestock/>.
- Casasola, F; Ibrahim, M; Ramírez, E; Villanueva, C; Sepúlveda, C; Araya, J. 2006. Pago por servicios ambientales y cambios de uso de la tierra en paisajes denominados por la ganadería de Nicaragua y Costa Rica. 2006, *Rev. Agroforestería en las Américas*. (45):79-85
- Carmona, JC; Bolívar, DM; Giraldo, LA. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo (en línea). *Revista Colombiana de ciencias pecuarias* Vol. 18(1):40-63. Consultado 24 junio 2021. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a06.pdf>
- CIAT. 2005. Informes anuales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 34 p.
- Cochran, W.G. 1996. Técnicas de muestreo. Ed. CECOSA. México 505 p.
- CMNUCC (Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) 2015. Aprobación del Acuerdo de París (en línea). Propuesta del presidente. Proyecto de decisión

-/CP.2. Consultado: 6 junio 2021. Disponibles en:
<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>

Crutzen, P.J; Aselmann, I; Seiler, W. 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus*, 38 (8): 271-284.

Chagunda, MG. 2013. Opportunities and challenges in the use of the Laser Methane Detector to monitor enteric methane emissions from ruminants (en línea). 7: s 2, p 394-400 & The Animal Consortium 2013. Consultado: 3 junio 2021. Disponible:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23739480>

Daniel, O. 2000. Definição de indicadores de sustentabilidade para sistemas agroflorestais. 150f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil.

De Blas, C; García-Rebollar, P; Cambra-López, M; Torres, A.G. 2008. Contribución de los Rumiantes a las Emisiones de Gases con Efecto Invernadero. XXIV Curso de Especialización FEDNA. Madrid, 23 y 24 de octubre de 2008. 94 p.

Decaens, T; Lavelle, P; Jiménez, J; Escobar, G; Rippstein, G; Schneidmadl, J; Sanz, J; Hoyos, P; Thomas, R. 2001. Impact of land management on soil macrofauna in the eastern plains of Colombia. pp 19-41.

Deramus, HT; Giampola, C; Dickison, P. 2003. Methane Emissions of Beef Cattle on Forages: Efficiency of Grazing Management Systems (en línea). *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL QUALITY* VOL. 32:269-277. Consultado junio 2021. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/8501761_Methane_emissions_of_beef_cattle_on_forages_Efficiency_of_grazing_management_systems.

Di Rienzo, J.A; Casanoves, F.; Balzarini, M.G; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C.W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado: 12 junio 2021. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>

Dustan, A. 2002. Review of methane and nitrous oxide emission factors for manure management in cold climates. (On line) Consultado 21 junio 2021. 41 p. Disponible en: <http://www.jti.se/uploads/jti/r299ad.pdf>.

- Escobar, G; Berdegue, J. 1990. Tipificación de sistemas de producción agrícola. Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción (RIMISP). Edit. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural. Santiago de Chile. 282 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). 2001. La situación de los bosques en el mundo (En línea). Roma, IT. Consultado el 5 junio 2021. Disponible en <http://www.ambiental.net/RedANoticias/FAOBosquesMundo2001.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. Ganadería y deforestación. Políticas Pecuarias – 3. Consultado junio 2021. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0262s/a0262s00.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones. LEAD - FAO. Roma, Italia, FAO. 492 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2015. Ganadería sostenible y cambio climático en América Latina y el Caribe Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Consultado 4 junio 2021. Disponible en <http://www.fao.org/americas/perspectivas/ganaderia-sostenible/es/>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2018. El suelo es un recurso no renovable. Consultado 12 junio 2021. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>
- Feijóo, M; Buitrago, A; Calderón, P; Gil, D; Zúñiga, M; Camargo, J. 2004. Quantifying soil macroinvertebrates under different land use systems in Colombia. 2nd International Symposium on Silvopastoral Systems. Universidad Autónoma. Mérida, Yucatán, México. 88 p.
- Flores, A; Malpartida, E. 1998. Manejo de Praderas Nativas y Pasturas en la Región Andina del Perú. Banco Agrario. Fondo del Libro. Tomo II. Lima- Perú. 87 p.
- Gaudín G. 2010. Agricultura a gran escala afectan equilibrio ecológico. Noticias Aliadas. Cambio climático: Seguridad Alimentaria, agua & protección de bosques. Buenos Aires – Argentina. 126 p.

- Gerber, P.J; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Falcucci, A; Tempio, G. 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma. 398 p.
- Gibbs, M. J; Lewis, L.; Hoffman, J. S. 1989. Reducing Methane Emissions from Livestock: Opportunities and Issues. (U.S. Environmental Protection Agency: Washington, D.C.). 285 p.
- González, F; Rodríguez, H. 1999. Proyecciones de las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) Colombia 1998-2010. *Rev Acad Colomb Cienc*; 23 (89): 497-505
- Gómez, C; Fernández, M. 2009. “Análisis comparativo de las emisiones de metano y efecto del cambio climático sobre la ganadería en el Perú”. IN: “Los impactos del cambio climático sobre el agua y el manejo de los recursos naturales”. SEPIA XIII. Cusco, 10 al 13 de agosto. 29 p.
- GRA (Alianza Global de Investigación de Gases de Efecto Invernadero en la Agricultura) y SAI (Plataforma de la Iniciativa para la Agricultura Sustentable). 2013. Reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero de la ganadería: Mejores prácticas y opciones emergentes (en línea). Dublín (2013). Consultado 5 junio 2021. 45 p. <http://globalresearchalliance.org/wp-content/uploads/2016/09/LRG-SAI-Mitigacion.pdf>
- Greenhouse in Agriculture 2016. (On line) Consultado 16 junio 2021. Disponible en: <http://www.greenhouse.unimelb.edu.au/Tools.htm>.
- Harvey, C. 2003. La conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles. Curso Internacional sobre ganadería y medio ambiente. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 21 p.
- Herrick, J.E; Jones, T.L. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1320–1324.
- Hindrichsen, I.K; Wettstein, H.R; Machmuller, A; Kreuzer, M. 2006. Methane emission, nutrient degradation and nitrogen turnover in dairy cows and their slurry at different milk production scenarios with and without concentrate supplementation. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 113 (21): 150-161.

- Hristov, A.N; OH, J; Lee, C; Meinen, R; Montes, F; Ott, T; Firkins, J; Rotz, A; Dell, C; Adesogan, A; Yang, W; Tricarico, J; Kebreab, E; Waghorn, G; Dijkstra, J; Oosting, S. 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO2 emissions. Edited by Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson and Harinder P.S. Makkar. FAO Animal Production and Health Paper No. 177. FAO, Rome, Italy. 267 p.
- Holmann, F., Argel, P., Rivas, L., White, D., Estrada, R., Burgos, C., Pérez, E., Ramírez, G. y Medina, A. 2004. ¿Vale la pena recuperar pasturas degradadas? Una evaluación de los beneficios y costos desde la perspectiva de los productores y extensionistas pecuarios en Honduras. Cali, Colombia. (Documento de Trabajo No. 196). 34 p.
- Ibrahim, M., Villanueva, C. P., Casasola, F. 2007. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 87 p.
- INEI. (Instituto Nacional de Estadísticas e Informática). 2012a. Resultados finales IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Ministerio de Agricultura y Riego. [Internet], [10 junio 2021]. Disponible en: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>
- INEI. (Instituto Nacional de Estadísticas e Informática). 2012b. IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Sistema de consulta de resultados censuales. Cuadros estadísticos [Internet], [consultado 9 junio 2021]. Disponible en: <http://www.censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>
- INTAGRI. 2018. Disponibilidad de nutrimentos y pH del suelo. Consultado: 09 junio 2021. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrimentos-y-el-ph-del-suelo>
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 1997. Estabilización de los gases de efecto invernadero: Implicaciones físicas, biológicas y socioeconómicas (en línea). Documento técnico III IPCC. Consultado 26 junio 2021. Disponible en <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/paper-III-sp.pdf>.

IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2001. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico (en línea). Consultado: 20 junio 2021. Disponible en <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf>. (Tercer Informe de Evaluación)

IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2006. Emisiones resultantes de las gestiones del ganado y del estiércol. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (en línea). Consultado 26 junio 2021. Disponible en http://www.ipcc-ggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf.

IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2014a: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O; Pichs-Madruga, R; Sokona, Y; Farahani, E; Kadner, S; Seyboth, K; Adler, A; Baum, I; Brunner, S; Eickemeier, P; Kriemann, B; Savolainen, J; Schlömer, S; Von Stechow, C; Zwickel, T; Minx, J.C. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, pp. 1-27.

IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2014b: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B; Barros, V.R; Dokken, D.J; Mach, K.J; Mastrandrea, M.D; Bilir, T.E; Chatterjee, M; Ebi, KL; Estrada, Y.O; Genova, R.C; Girma, B; Kissel, E.S; Levy, A.N; MacCracken, S; Mastrandrea, P.R; White, L.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

Jensen, BB. 1996. Methanogenesis in monogastric animals. *Environ. Monit. Assess.*, 42: 99-112.

Johnson, KA; Johnson, DE. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim Sci*; 73: 2483-2492

- Kinsman, R; Sauer, FD; Jackson, HA; Wolynetz, MS. 1995. Methane and carbon dioxide emissions from cows in full lactation monitored over a six-month period. *J Dairy Sci*; 78 (12): 2760-2766
- Külling, D.R; Menzi, H; Sutter, F; Lischer, P; Kreuzer, M. 2003. Ammonia, nitrous oxide and methane emissions from differently stored dairy manure derived from grass- and hay-based rations. (On line) Article in *Nutrient Cycling in Agroecosystems* · January 2003. Consultado: 29 junio 2021. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/226022472>.
- Kumar, S; Kumar, P; Carro, C; Carro, M.D; Griffith, GW; Dagar, S; Puniya, M; Calabro, S; Rao, R. S; Dhewa, T; Chandra, U. R; Kumar, S. S; Kundu, S; Wanapat, M; Kumar, P. A. 2013. New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. (On line) *Microbiol Biotechnol* (2014) 98:31–44 Consultado: 12 junio 2021. Disponible en: <https://www.iris.unina.it/retrieve/handle/11588/594300/39042/Kumar%20et%20al.%202014%20AMB.pdf>
- Kurihara, M; Magner, T; Mccrabb, H; Mccrabb, G. 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*; 81(1): 227-234.
- Landa, R; Ávila, B; Hernández, M. 2010. Cambio Climático y Desarrollo Sustentable. Para América Latina y el Caribe. Conocer para comunicar (en línea). México, DF, BRITISH COUNCIL, PNUD, MEXICO, CATEDRA UNESCO IMTA, FLACSO MEXICO. Consultado 25 junio 2021. Disponible en http://enlaceacademico.ucr.ac.cr/sites/default/files/publicaciones/CCYDSlibro-1_1.pdf.
- León, J.A. 2006. Conocimiento local y razonamiento agroecológico para toma de decisiones en pasturas degradadas en El Petén, Guatemala. Tesis Mg. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 114 p
- León-Velarde, C; Quiroz, R.A; Cañas, R; Osorio, J; Guerrero, J; Pezo, D. 2006. LIFE-SIM: Livestock feeding strategies simulation models. CIP-Natural Resources Management Division. Working Paper No. 2006-1. Lima, Perú. 47 p.
- Leng, R. A. 1993. Quantitative ruminant nutrition - A green science. *Australian Journal of Agricultural Research* 44 (2): 363-80

- Luna, G; Sequeira, K; Torrez, M; Taleno, E; Serrano, I; González, M. 2010. Abundancia y biomasa de lombrices de tierra en dos ecosistemas intervenidos del bosque tropical húmedo, Bluefields. *Ciencia e interculturalidad*. Vol. 6. 131 p.
- Macedo, R; Galina, M.A; Zorrilla, J.M; Palma, J.M; Pérez, J. 2003. Análisis de un sistema de producción tradicional en Colima, México. *Archivos de Zootecnia*. Vol 52. N° 200. Pag. 463-474.
- Mangino, J; Bartram, D; Brazy, A. 2001. Development of a Methane Conversion Factor to Estimate Emissions from Animal Waste Lagoons (On line) Consultado 24 junio 2021. P.1-14. Disponible en: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/conference/ei11/ammonia/mangino.pdf>
- Margan, D.E; Graham, N.M; Minson, D.J; Searle, T.W. 1988. Energy and protein values of four forages, including a comparison of tropical and temperate species. (On line) *Aust J Exp Agri*, 28 (3): 729-736. Consultado: 13 junio 2021. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/248890355_Energy_and_protein_values_of_four_forages_including_comparison_between_tropical_and_temperate_species.
- Masera, O. 1999. Sustentabilidad y manejo de los recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. Mundi-prensa, México. 109 p.
- Ministerio de Agricultura y Riego. 2017. Diagnóstico de crianzas priorizadas para el PLAN GANADERO 2017-2021. Dirección General de Políticas Agrarias. Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria. Lima. 68 p.
- McCraab, G. J. 2002. Nutritional options for abatement of methane emissions from beef and dairy systems in Australia. *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. Takahashi, J., and B. A. Young, (Eds.). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. pp. 115-124
- McCaughey, W; Wittenberg, K; Corrigan, D. 1997. Methane production by steers on pasture. *Can J An Sc*; 76 (3): 519-524.
- McCaughey, W; Wittenberg, K; Corrigan, D. 1999. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Can J An Sc*; 79 (2): 221-226.
- Moss, AR; Jouany, JP; Newbold, J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *INRA EDP Sciences. Ann Zootech*; 49 (4): 231-253.

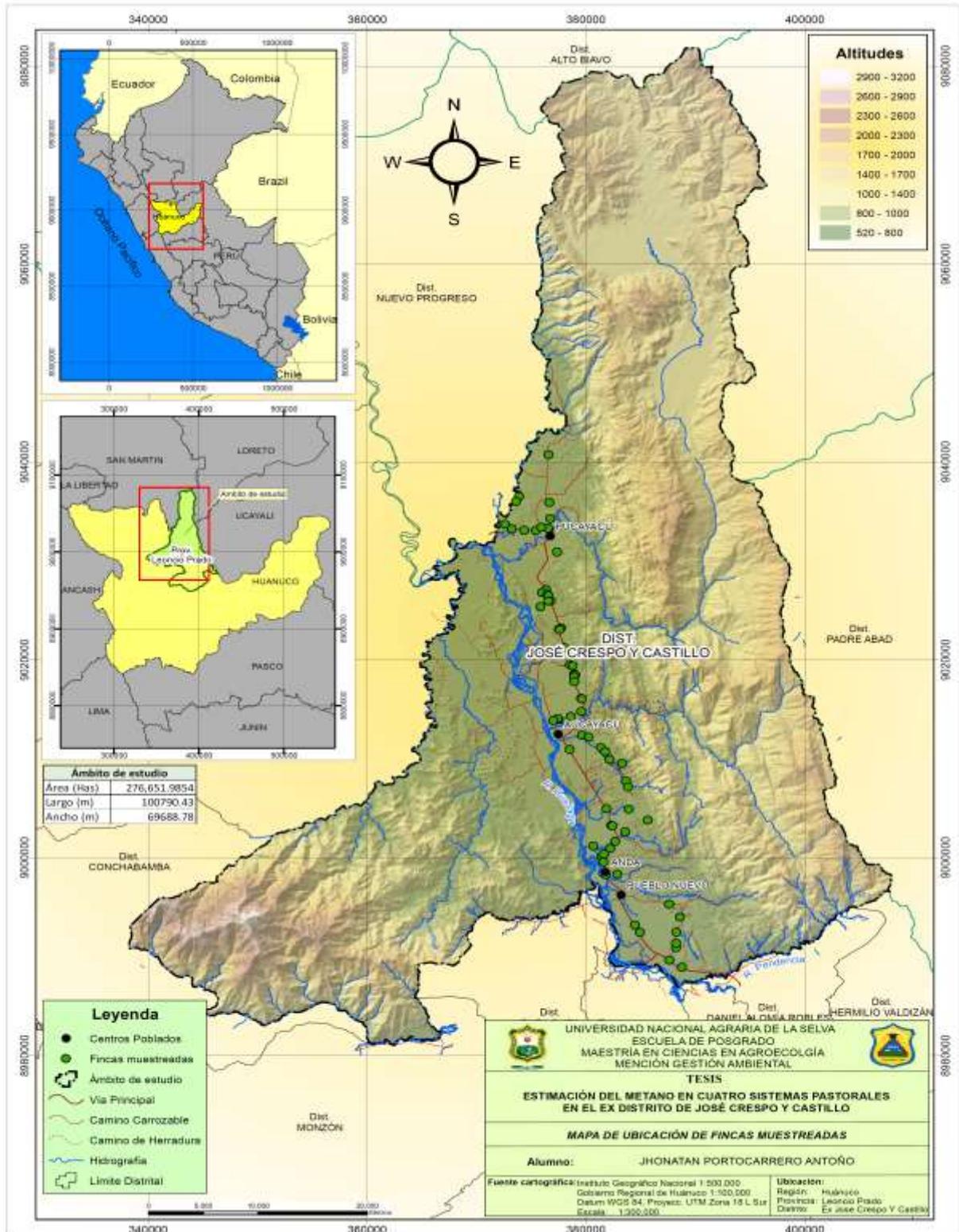
- Moscoso, M; Franco, F; San Martín, F; Olazábal, J; Chino, L; Pinares-Patiño, C. 2017. Producción de metano en vacunos al pastoreo suplementado con ensilados, concentrado y taninos en el Altiplano Peruano en época seca. *Revista de investigaciones veterinarias del Perú* 28(4): 36-45
- Moura, AM; Gonçalves, LC; Sales, F. PD; Gruppioni, C. IH; Gonçalves, C. DS; Melgaço, FP; Alves, O. JP; Fagundes, D. TH. 2015. Métodos para medir a emissão individual de metano por ruminantes: Hexafluoreto de enxofre, produção de gases in vitro, respirometría (en línea). *Revista Electrónica Nutritime*. Consultado 18 junio 2021. 12 (6). Disponible: www.nutritime.com.br.
- Muñoz, C; Yan, T; Wills, D.A; Murray, S; Gordon, A.W. 2012. Comparison of the sulphur hexafluoride tracer and respiration chamber techniques for estimating methane emissions and correction for rectum methane output from dairy cows. (On line). *J Dairy Sci* 2012 jun. 95 (6): 3139-48. Consultado 25 junio 2021. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22612950>
- Ochoa, J. 2015. Aplicando los capitales de la comunidad para mejorar la adaptación y mitigación al cambio climático en fincas ganaderas de la Subcuenca Sixe Higuito, Región Trifinio. *Magister Scientiae en Sistemas Agrícolas Sostenibles*. s.l., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Padilla, C; Sardiñas, Y. 2003. Degradación de Pastizales. *Memorias del curso para ganado bovino en el trópico*. *Rev. Redalyc*. V. 43, n. 4-5 p.
- Pardos, L; Sáez, E; González, J.M; Allueva, A. 1999. Caracterización técnica de explotaciones ovinas aragonesas mediante métodos estadísticos multivariantes. *SEOC*. XXII.
- Paz, R; Lipshitz, H; Álvarez, R; Usandivaras, P. 2003. Diversidad y Análisis económico en los sistemas de producción lecheros caprinos en el área de riego del Río Dulce-Santiago del Estero-Argentina. *ITEA Vol. 99 A N° 1*. Pág. 10-40.
- Pérez, P. 2014. Estrategias para la renovación de praderas degradadas en la hacienda los Pulpitos. Tesis. *Ing. Industrial Pecuario*. Caldas, Colombia. *Corporación Universitaria Lasallista*. 76 p.

- Pinares-Patiño, C.S; Ulyatt, M.J; Waghorn, G.C; Lassey, K.R; Barry, T.N; Holmes, C.W; Johnson, D.E. 2003. Methane emissions by alpaca and sheep fed on lucerne hay or grazed on pastures of perennial ryegrass/white clover or birdsfoot trefoil. (en línea). *El Journal of Agricultural Science*, Volumen 140, Número 2. Consultado: 25 junio 2021. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/methane-emission-by-alpaca-and-sheep-fed-on-lucerne-hay-or-grazed-on-pastures-of-perennial-ryegrasswhite-clover-or-birdsfoot-trefoil/D21EE082E402A5563B4D69200BCBF7C9>.
- Pinares-Patiño, CS. 2015. Mitigación de las emisiones de metano entérico de sistemas ganaderos al pastoreo. (en línea). Consultado: 18 junio 2021. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR40147.pdf>.
- Prabhu, R. 2000. El potencial de los indicadores: indicadores con sensibilidad social. *Revista Forestal Centroamericana*, Turrialba, CR. 6: 29-52.
- Preston, TR; Leng, RA. 1989. Friendly development. *Livestock Research for Rural Development*, 1(1), November, URL: Consultado 16 junio 2021. Disponible: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd1/1/preston.htm>
- Primavesi, O; Shiraishi, RT; Dos Santos, M; Aparecida, M; Teresinha, T; Franklin, P. 2004. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq agropec bras*. 39 (3): 277-283.
- Rapey, H; Lifran, R; Valadier, A. 2001. Identifying social, economic and technical determinants of silvopastoral practices in temperate uplands: results of a survey in the Massif central region of France. *Agricultural Systems* N° 69. Pág. 119-135.
- Robles-Rodríguez, R. 2005. Planificación agroconservacionista de fincas como contribución al manejo integrado de la microcuenca del Río Uruca, Costa Rica. Tesis *M.Sc.* CATIE. Turrialba, Costa Rica. 196 p.
- Sánchez, S; Reines, M. 2001. Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes*. 24:191
- SENAMHI. (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2017. Boletín Agrometeorológico. Dirección Zonal 10. Consultado 23 junio 2021. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.pe/load/file/04410SENA-14.pdf>

- Staff, E. 2014. Causas y efectos de la degradación de las praderas. [En línea]: Consultado: junio 2021. Disponible: <http://deterioro-pastizales.blogspot.pe/>.
- USDA. 1999. Guía para la elaboración de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de lo Estados Unidos. Washington. 88 p.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2º Ed. Comstock. Cornell University Press. 476 pp.
- Vargas, R; Cárdenas, E; Pabón, M; Carulla, J. 2012. Emisiones de metano entérico en rumiantes en pastoreo (en línea). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia Bogotá. . Consultado 16 junio 2021. P1-16 Disponible en: http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/11_13_35_2649REVISIO NProduccionVargas.pdf
- Vélez, V; Obando, A; San Martín, F; Olazabal, J; Pacheco, J; Franco, F. 2014. Relación entre el consumo de materia seca y la estimación de la emisión de metano en vacunos lecheros diferenciada por sistema de producción y fase de lactancia en la irrigación Majes –Arequipa – Perú. IN: Primera Conferencia de Gases de Efecto Invernadero en Sistema Agropecuarios de América Latina (GALA). Serie ACTAS INIA N° 54. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. INIA – Remehue. Osorno – Chile. 122 p.
- Wattiaux, M. 1996. Guías Técnicas Lecheras Electrónicas. The Babcock Institute for International Dairy Research and Development. University of Wisconsin-Madison USA. 254 p.
- WRI (World Resources Institute) and WBCSD (World Business Council on Sustainable Development) 2016. Greenhouse Protocol. (en línea). Consultado 23 junio 2021. Disponible: <http://www.ghgprotocol.org/>

IX. ANEXOS

9.1. Mapa de ubicación de fincas muestreadas



9.2. Datos meteorológicos

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
Gabinete de Meteorología y Climatología

Tingo María, 27 de octubre de 2020

ESTACION : TINGO MARIA
AÑO : 2018-2019
ATENCIÓN: RECIBO N°001-0605802 JHONATAN PORTOCARRERO ANTOÑO
COORDENADAS GEOGRAFICAS:
LATITUD 09° 07' 22" SUR LONGITUD: 76° 02' 30.5" OESTE ALTITUD 613msnm

AÑO 2018

MESES	TEM. MAX (°C)	TEM. MIN (°C)	TEM. MED (°C)	H.R (%)	P.P (MM)	HORAS (SOL)
ENERO	30.1	20.6	25.4	86	350.5	575.7
FEBRERO	29.8	21.3	25.6	85	257.2	528.7
MARZO	29.9	20.8	25.3	85	191.8	635.3
ABRIL	29.9	20.6	25.4	86	188	525.7
MAYO	30.6	20.7	25.6	84	132.7	649.9
JUNIO	29.4	19.7	24.6	85	198	613.8
JULIO	30.4	19.5	24.9	83	57	613.1
AGOSTO	30.7	19	25.1	82	115.6	567.8
SEPTIEMBRE	32.3	20	26.4	89	69.4	642.9
OCTUBRE	30.5	21	25.7	83	203.1	400.9
NOVIEMBRE	29.6	21.3	25.4	86	532.0	292.8
DICIEMBRE	30.3	21.4	25.8	85	346.3	304.1

AÑO 2019

MESES	TEM. MAX (°C)	TEM. MIN (°C)	TEM. MED (°C)	H.R (%)	P.P (MM)	HORAS (SOL)
ENERO	29.9	21	25.4	85	225.2	358.7
FEBRERO	29.8	21	25.3	84	285.2	348.5
MARZO	30.2	21	25.6	85	483.7	385.4
ABRIL	30.5	21.2	25.8	84	119.5	378.5
MAYO	31	20.9	25.9	84	122.0	441.4
JUNIO	30.8	20.4	25.6	84	224.0	378.5
JULIO	30.3	20.2	25.2	84	91.5	420.8
AGOSTO	31.2	16.3	25.3	82	41.5	654.2
SEPTIEMBRE	31.4	20.5	25.9	82	104.7	547.4
OCTUBRE	30.4	20.9	25.6	84	275.1	458
NOVIEMBRE	31.1	21.3	26.2	82	159.5	363.8
DICIEMBRE	29.8	21.3	25.5	86	416.5	267.8


Dr. Lucio Manrique de Lara Suárez
Jefe del Gabinete de Meteorología y Climatología

9.3. Análisis químicos de pastos



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Nutrición Animal
Tingo María

Propietario : JHONATAN PORTOCARRERO ANTOÑO
 Muestras : PASTO (P1E1, P1E2, P1E3, P1E4), (P2E1, P2E2, P2E3, P2E4), (P3E1, P3E2, P3E3, P3E4), (P4E1, P4E2, P4E3, P4E4).
 Procedencia : PUCAYACU, AUCAYACU Y TULUMAYO
 Fecha recepción : 30/12/19
 Análisis solicitados : QUIMICO PROXIMAL Y FIBRA DETERGENTE ACIDA

Resultado de Análisis

Nº	MUESTRA	ANALISIS	RESULTADOS
		HUMEDAD	5.48 %
		MATERIA SECA	94.52 %
	P1E1	PROTEINA	9.71 %
		EXTRACTO ETereo	0.78 %
		CENIZA	12.25 %
		FIBRA CRUDA	26.1 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	40.46 %
		HUMEDAD	4.62 %
		MATERIA SECA	95.38 %
	P1E2	PROTEINA	9.22 %
		EXTRACTO ETereo	0.87 %
		CENIZA	21.57 %
		FIBRA CRUDA	21.9 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	41.53 %
		HUMEDAD	5.28 %
		MATERIA SECA	94.72 %
	P1E3	PROTEINA	11.29 %
		EXTRACTO ETereo	1.27 %
		CENIZA	11.41 %
		FIBRA CRUDA	25.6 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	38.79 %
		HUMEDAD	4.95 %
		MATERIA SECA	95.05 %
	P1E4	PROTEINA	11.05 %
		EXTRACTO ETereo	1.11 %
		CENIZA	9.86 %
		FIBRA CRUDA	25.1 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	36.40 %





Nº	MUESTRA	ANÁLISIS	RESULTADOS
		HUMEDAD	3.44 %
		MATERIA SECA	96.56 %
	P2E1	PROTEINA	8.63 %
		EXTRACTO ETereo	0.65 %
		CENIZA	7.80 %
		FIBRA CRUDA	27.3 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	39.69 %
		HUMEDAD	3.29 %
		MATERIA SECA	96.71 %
	P2E2	PROTEINA	10.38 %
		EXTRACTO ETereo	0.87 %
		CENIZA	7.52 %
		FIBRA CRUDA	27.9 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	38.46 %
		HUMEDAD	3.92 %
		MATERIA SECA	96.08 %
	P2E3	PROTEINA	9.25 %
		EXTRACTO ETereo	0.86 %
		CENIZA	7.18 %
		FIBRA CRUDA	28.2 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	37.85 %
		HUMEDAD	4.18 %
		MATERIA SECA	95.82 %
	P2E4	PROTEINA	10.65 %
		EXTRACTO ETereo	1.11 %
		CENIZA	7.58 %
		FIBRA CRUDA	27.1 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	34.19 %



Nº	MUESTRA	ANALISIS	RESULTADOS
		HUMEDAD	3.74 %
		MATERIA SECA	96.26 %
	P3E1	PROTEINA	8.93 %
		EXTRACTO ETereo	0.79 %
		CENIZA	9.45 %
		FIBRA CRUDA	23.4 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	35.26 %
		HUMEDAD	4.02 %
		MATERIA SECA	95.98 %
	P3E2	PROTEINA	9.89 %
		EXTRACTO ETereo	0.81 %
		CENIZA	9.52 %
		FIBRA CRUDA	24.8 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	38.52 %
		HUMEDAD	4.4 %
		MATERIA SECA	95.6 %
	P3E3	PROTEINA	9.98 %
		EXTRACTO ETereo	1.06 %
		CENIZA	7.63 %
		FIBRA CRUDA	24.4 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	34.12 %
		HUMEDAD	3.83 %
		MATERIA SECA	96.17 %
	P3E4	PROTEINA	9.89 %
		EXTRACTO ETereo	1.22 %
		CENIZA	7.37 %
		FIBRA CRUDA	26.2 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	34.32 %

Nº	MUESTRA	ANALISIS	RESULTADOS
		HUMEDAD	3.4 %
		MATERIA SECA	96.6 %
	P4E1	PROTEINA	7.20 %
		EXTRACTO ETereo	0.82 %
		CENIZA	11.15 %
		FIBRA CRUDA	31.8 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	43.03 %
		HUMEDAD	3.23 %
		MATERIA SECA	96.77 %
	P4E2	PROTEINA	6.62 %
		EXTRACTO ETereo	0.77 %
		CENIZA	12.90 %
		FIBRA CRUDA	30.2 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	43.06 %
		HUMEDAD	3.23 %
		MATERIA SECA	96.77 %
	P4E3	PROTEINA	8.52 %
		EXTRACTO ETereo	1.38 %
		CENIZA	12.56 %
		FIBRA CRUDA	28.5 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	41.03 %
		HUMEDAD	4.18 %
		MATERIA SECA	95.82 %
	P4E4	PROTEINA	8.17 %
		EXTRACTO ETereo	1.19 %
		CENIZA	13.92 %
		FIBRA CRUDA	26.4 %
		FIBRA DETERGENTE ACIDA	39.55 %



Tingo María, 16 de Octubre del 2020

Gleidy Ríos Saldaña

GLEIDY RÍOS SALDAÑA
TEC. Laboratorio de Nutrición Animal
Fac. Zootecnia - UNAS

9.4 Análisis químico de suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Carretera Central Km 1.21 - Tingo Maria - WhatsApp 941531359
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: REYNA SOTO GIANRYA ELIZABETH										PROCEDENCIA: JOSÉ CRESPO Y CASTILLO - HUANUCO																		
N°	DATOS			ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%						
	COD LAB	SECTOR	REP	%	%	%							Textura	1:1	%	%	disponible						Ca	Mg	K	Na	Al	H
																	ppm	ppm										
1	S0595	7 DE OCTUBRE	P1M1	39	26	35	Franco	4.71	2.36	0.12	9.53	84.96	---	3.22	0.42	--	--	2.50	0.11	6.25	58.22	41.78	40.02					
2	S0596	7 DE OCTUBRE	P1M2	41	26	33	Franco	5.01	2.28	0.11	10.98	87.21	---	1.73	0.49	--	--	2.69	0.11	5.02	44.19	55.81	53.62					
3	S0597	7 DE OCTUBRE	P1M3	43	26	31	Franco	4.96	2.36	0.12	10.01	86.46	---	4.33	0.45	--	--	2.60	0.02	7.30	65.48	34.52	34.26					
4	S0598	KM8	P2M1	49	18	33	Franco	4.75	2.36	0.12	13.77	124.95	---	6.18	0.76	--	--	1.95	0.16	9.04	76.77	23.23	21.57					
5	S0599	KM8	P2M2	49	16	35	Franco	4.53	2.28	0.11	13.38	112.45	---	3.00	0.75	--	--	1.80	0.10	5.65	66.39	33.61	31.84					
6	S0600	KM8	P2M3	49	16	35	Franco	4.67	2.28	0.11	13.22	99.46	---	3.26	0.83	--	--	1.63	0.07	5.79	70.61	29.39	28.18					
7	S0601	KM7	P3M1	35	18	47	Franco	4.54	2.84	0.14	10.26	59.22	---	3.04	0.53	--	--	2.50	0.10	6.17	57.84	42.16	40.54					
8	S0602	KM7	P3M2	33	18	49	Franco	4.31	2.80	0.14	11.54	55.73	---	1.27	0.38	--	--	2.54	0.16	4.35	37.91	62.09	58.41					
9	S0603	KM7	P3M3	39	20	41	Franco	4.91	2.58	0.13	9.85	60.22	---	1.37	0.43	--	--	3.20	0.02	5.01	35.73	64.27	63.87					
10	S0604	7 DE OCTUBRE	P1Hz A	41	26	33	Franco	4.83	3.28	0.16	13.71	123.20	---	1.48	0.57	--	--	3.10	0.02	5.16	39.55	60.45	60.06					
11	S0605	7 DE OCTUBRE	P1Hz B	37	32	31	Franco Arcilloso	4.91	1.84	0.09	12.50	91.96	---	4.12	0.43	--	--	3.49	0.01	8.05	56.51	43.49	43.36					
12	S0606	7 DE OCTUBRE	P1Hz BA	33	20	47	Franco	4.93	1.49	0.07	7.37	60.22	---	4.60	0.61	--	--	4.60	0.05	9.86	52.83	47.17	46.66					
13	S0607	7 DE OCTUBRE	P1Hz C	31	48	21	Arcilloso	4.51	1.01	0.05	6.81	55.73	---	1.78	0.38	--	--	5.80	0.20	8.14	26.27	73.73	71.27					
14	S0608	KM8	P2Hz A	37	16	47	Franco	4.91	3.28	0.16	11.46	83.96	---	4.06	2.08	--	--	2.50	0.10	8.73	70.22	29.78	28.63					
15	S0609	KM8	P2Hz B1	31	34	35	Franco Arcilloso	4.60	1.36	0.07	8.33	61.22	---	3.55	0.43	--	--	5.68	0.02	9.68	41.10	58.90	58.69					
16	S0610	KM8	P2Hz B2	51	30	19	Franco Arcillo Arenoso	4.42	1.05	0.05	7.34	54.23	---	2.69	0.38	--	--	6.44	0.06	9.57	32.09	67.91	67.29					
17	S0611	KM7	P3Hz A	43	12	45	Franco	4.48	3.37	0.17	9.79	110.95	---	1.67	0.35	--	--	2.20	0.40	4.62	43.72	56.28	47.62					
18	S0612	KM7	P2Hz C	33	34	33	Franco Arcilloso	4.47	1.66	0.08	2.11	92.21	---	3.34	0.44	--	--	5.20	0.43	9.41	40.16	59.84	55.27					

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001 N° 0610440
TINGO MARIA, 05 DE OCTUBRE 2020



ING. LUIS G. MARCELLA MIRAYA
JEFE





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - WhatsApp: 941531359
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
 analisis@suelosurias@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: REYNA SOTO GIANYRA ELIZABETH										PROCEDENCIA: JOSE CRESPO Y CASTILLO - HUANUCO												
N°	DATOS			ANÁLISIS MECÁNICO			pH	MO.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%
				Arena	Arcillo	Limo							disponible			Ca	Mg	K				
	%	%	%	ppm	ppm	ppm	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al													
19	S0777	TULUMAYO	P4HzA	25	28	47	6.41	212	611	10.09	156.42	8.15	6.64	0.88	0.43	0.20	--	--	--	100	0	0
20	S0778	TULUMAYO	P4HzB	17	34	49	6.82	074	004	7.53	50.43	6.33	5.43	0.62	0.14	0.13	--	--	--	100	0	0
21	S0779	TULUMAYO	P4M1	25	26	49	6.10	209	010	10.74	113.67	6.25	5.07	0.79	0.24	0.17	--	--	--	100	0	0
22	S0780	TULUMAYO	P4M2	29	26	45	5.80	204	010	10.50	102.84	6.10	4.99	0.77	0.22	0.12	--	--	--	100	0	0
23	S0781	TULUMAYO	P4M3	27	26	47	5.62	162	008	9.69	97.10	4.88	4.04	0.64	0.13	0.07	--	--	--	100	0	0

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
 RECIBO 081 N°061040
 TINGO MARIA, 35 DE OCTUBRE 2020


 Lidia C. Mollaco Miraya
 JEFA



MÉTODOS ANALÍTICOS

01. pH método del potenciómetro, relación suelo - agua 1:1
02. C.E. Conductímetro – Extracto Acuoso
03. Materia orgánica: Método de Walkley y Black
04. Nitrógeno Total: Micro Kjeldahl
05. Fósforo disponible: Método de Olsen modificado, Extracto de NH_4CO_3 0.5M, pH 8.5
06. Potasio Disponible: Método de acetato de amonio 1N, pH 7.0
07. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Método de acetato de amonio 1N, pH 7.0
Ca Mg K Na : Absorción atómica
08. C.I.C efectiva: Desplazamiento con KCl 1N (Suelos en pH < 5.5)
Aluminio más Hidrógeno: Método de Yuan.
09. Densidad Aparente, Densidad Real, Porcentaje de Porosidad: Método de la Probeta
10. Humedad Relativa, Capacidad de Campo: Método de la Probeta
11. Determinación de elementos menores Hierro, Cobre, Zinc y Manganeso: Método Melich III – EAA
12. Determinación del Boro: Método de la Azometina – H
13. Cadmio y Plomo disponible: Método EDTA – EAA
14. Cadmio Total: Extracción USEPA 3050 – EAA
15. Cadmio Soluble: Lectura directa de la solución en el espectrofotómetro de Absorción Atómica.

INTERPRETACIÓN DEL pH

Segun Scheffer y Schachtschabel	pH en KCl	UNALM	pH en agua
Extremadamente ácido	< 4.0	Fuertemente ácido	< 5.5
Fuertemente ácido	4.0 - 4.9	Moderadamente ácido	5.5 - 6.0
Medianamente ácido	5.0 - 5.9	Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Ligeramente ácido	6.0 - 6.9	Neutro	7.0
Neutro	7.0	Ligeramente alcalino	7.2 - 7.8
Ligeramente alcalino	7.1 - 8.0	Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
Mediana alcalino	8.1 - 9.0	Fuertemente alcalino	> 8.5
Fuertemente alcalino	9.1 - 10		
Extremadamente alcalino	> 10		

Interpretación de Salinidad	Rango (dS/m)
No salino	0-2
Muy ligeramente salino	2-4
Ligeramente salino	4-8
Moderadamente salino	8-15
Fuertemente salino	> 16

Interpretación de Potasio Disponible	Rango (Kg K ₂ O/ha)	Rango (ppm)
Bajo	< 300	< 100
Medio	300-600	100-240
Alto	> 600	> 240



Interpretación de Carbonato de Calcio	Rango (%)
Bajo	< 1
Medio	1-5
Alto	5-15
Muy alto	> 15

Interpretación de Materia Orgánica	Rango (%)
Bajo	< 2
Medio	2-4
Alto	> 4

Interpretación de Nitrógeno Total	Rango (%)
Bajo	< 0.1
Medio	0.1-0.2
Alto	> 0.2

Interpretación de Fósforo Disponible	Rango (ppm)
Bajo	< 7
Medio	7-14
Alto	> 14

GRACIAS POR LA CONFIANZA Y PREFERENCIA

9.5. Evaluación de las pasturas naturales y mejoradas según su índice de degradación.

N	Clave	Propietario	PASTURA NATURAL					PASTURA MEJORADA								
1	P1	GARCIA HIJUELA BARTOLA							0	3	3	3	3	4	5	3.5
2	P2	ROMERO MARTINEZ FELICIANO							0	5	4	5	5	5	4	4.7
3	P3	VERA ISLA JESUS TRINIDAD	2	2	2	2	3	3	2.35							0
4	P4	RAMIREZ MINAURO HORACIO							0	5	5	5	5	4	5	4.8
5	P5	CONTRERAS FLORES CARNELIO							0	3	3	3	2	4	3	3.1
6	P6	ROBALINO AREVALO ADALBERTO	1	1		1	3	3	1.55							0
7	P7	SANCHEZ LESCANO JOSE	1	1	1	1	3	3	1.7							0
8	P8	CUEVA SANTILLAN SEGUNDO RAFAEL	2	2	2	2	3	3	2.35							0
9	P9	FLORES FACUNDO MATEO							0	5	5	5	5	5	4	4.9
10	P10	ROJAS SALINAS FRANCISCA							0	5	4	4	5	5	5	4.7
11	P11	CONDEZO CAPAHUAYNA JACINTA	2	3	3	2	3	3	2.65	5	3	3	4	4	4	3.9
12	P12	ARRIETA ARVI Abelardo GROBER	1	2	2	1	2	2	1.65	4	4	3	3	5	4	3.9
13	P13	ESPINOZA AGÜERO FLOIRAN	3	3	2	2	3	3	2.7	5	4	5	5	5	4	4.7
14	P14	BRAVO TELLO FELINA							0	1	2	2	1	5	5	2.7
15	P15	PRESENTACION RIVERA ALBERTO	2	2	3	2	3	3	2.5							0
16	P16	JARA DURAN FLOIRAN	3	3	2	3	3	3	2.85							0
17	P17	MARCELLINI VIGILIO BEATO	2	3	3	2	2	1	2.15							0
18	P18	RUEDA PONCE REDINA	3	3	3	1	3	3	2.7							0
19	P19	BRAVO PALOMINO MAO BLADIMIR	3	3	3	1	3	3	2.7							0
20	P20	ROJAS ANICETA	2	3	2	1	1	1	1.65							0
21	P21	QUINTOS CASTRO MARCOS	2	2	3	1	3	3	2.35							0
22	P22	QUINTOS CONTRERAS JAIME	2	1	3	1	3	3	2.2							0
23	A1	TREJO INOCENTE JOSE	2	3	3	1	3	3	2.5							0
24	A2	PEREZ FLORES BERNARDINO	2	3	3	1	3	3	2.5	4	4	4	4	5	5	4.4
25	A3	ALEJO NIEVES EDGAR	2	3	3	2	3	3	2.65							0
26	A4	TRINIDAD TORRES MARGARITA	2	2	3	3	2	3	2.45							0


JOSE LUIS RINEDO MORI
 Ingeniero Zootecnista
 CIP N° 143229

N	Clave	Propietario	PASTURA NATURAL							PASTURA MEJORADA								
27	A5	REYES ZEA JOSE GABRIEL	3	3	3	2	3	3	2.85									0
28	A6	TRINIDAD TORRES LEONARDO	2	2	2	2	3	3	2.35									0
29	A7	TRINIDAD TORRES GLORIA	2	1	1	1	3	2	1.75									0
30	A8	FRETEL DOMINGUEZ JAIME	2	2	1	1	2	3	1.85									0
31	A9	BERROSPI CRUZ BERNARDINA	2	3	2	1	2	3	2.15									0
32	A10	HIGA LINARES JULIO CESAR	1	1	1	1	1	3	1.3									0
33	A11	GONZALES TUESTA DORIS	3	2	2	2	3	3	2.55									0
34	A12	ONOFRE GUIVARRA MIGUEL							0	5	4	4	5	4	4		4.4	
35	A13	PONCE ANGEL	3	3	2	3	2	3	2.65									0
36	A14	SIMON LINO ELISEO	2	3	2	1	3	3	2.35									0
37	A15	CAHUA HIDALGO CIRO	2	2	2	1	3	3	2.2									0
38	A16	ARIAS NAUNIA ELMEREGILDO	2	2	2	1	3	2	2.05									0
39	A17	HUMALA MOJOSA ROGER							0	5	4	3	5	5	5		4.6	
40	A18	AQUINO JAPA SOYLA	3	3	3	1	2	2	2.35	5	4	4	4	4	4		4.2	
41	A19	BRAVO HUAMÁN GAUDENCIO							0	5	4	4	4	4	4		4.2	
42	A20	AREVALO WALTER SEGUNDA	2	3	3	2	3	2	2.5	4	3	3	3	3	3		3.2	
43	A21	PONCE EUGENIO MARCOS	3	3	3	2	2	2	2.5	4	5	5	4	4	4		4.3	
44	A22	JORGE INOCATE FRANCISCA	1	1	1	1	2	2	1.35									0
45	A23	ISMINIO ALARCON JULIAN	3	3	3	3	3	3	3									0
46	AN1	AQUINO BALTAZAR NARCIZO	3	2	2	1	3	3	2.4									0
47	AN2	MALDONADO PAUCARCASA DEMETRIO							0	4	4	3	4	4	5		4	
48	AN3	FELIX TUANAMA-ZOOTECNIA-UNAS							0	4	4	5	4	5	5		4.5	
49	AN4	YALI BARRERA CORNELIO	1	1	1	1	1	2	1.15									0
50	AN5	YALI BARRERA ERMEGILIO	3	2	2	2	2	3	2.35									0
51	AN6	TAFUR CUCHILLA FRANCISCO							0	4	4	3	4	4	4		3.9	
52	AN7	CHAVEZ JAVIER CATALINA	3	2	3	1	3	2	2.4									0
53	AN8	MATIAS TRAVEZAÑO OLGA MARLENE	3	3	3	2	3	3	2.85									0
54	AN9	PONCE ROSAS WILFREDO	2	3	2	1	3	3	2.35									0


JOSÉ LUIS PINEDO MORI
 Ingeniero Zootecnista
 CIP N° 144229

N	Clave	Propietario	PASTURA NATURAL							PASTURA MEJORADA								
55	AN10	PRESENTACIÓN ATANASIO GABINA	3	3	3	1	2	3	2.5									0
56	AN11	MIRAVAL VILLAORDUÑA ALIPIA	3	3	3	2	2	3	2.65									0
57	AN12	RODRIGUEZ VERAMENDI RÓMULO	2	3	2	1	2	3	2.15									0
58	AN13	MOJARAS FLORES LEONARDO JOSE	2	1	1	1	3	3	1.9	4	3	3	3	4	5		3.7	
59	AN14	AQUINO MALPARTIDA GUISELA	2	1	1	1	2	2	1.55									0
60	PN1	FABIAN CESAR	3	3	3	3	3	3	3	5	5	4	5	4	5		4.7	
61	PN2	FABIAN PEDRO	1	1	1	1	2	2	1.35									0
62	PN3	HUAMAN CARBAJAL DIGNA	2	2	1	1	2	2	1.7									0
63	PN4	HUERTA ESPINOZA LILIANA	1	1	1	1	2	3	1.5									0
64	PN5	MALPARTIDA LINO EBER	1	1	1	1	2	2	1.35									0
65	PN6	TARAZONA GERONIMO DAVID	3	3	3	2	2	2	2.5									0
66	PN7	APARICIO PIO CARLOS	2	3	2	1	1	2	1.8									0
67	PN8	ROMAN PALOMARES VICTORIA	2	2	2	1	2	2	1.85									0
68	PN9	PEREZ ALVARADO IRENE	2	2	2	1	1	2	1.65									0


JOSE LUIS PINEDO MORI
 Ingeniero Zootecnista
 CIP N° 144229

9.6. Análisis de varianzas: química de pastos

PC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
PC		16	0.65	0.57	9.17

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16.6	3	5.53	7.55	0.0042
FINCA	16.6	3	5.53	7.55	0.0042
Error	8.79	12	0.73		
Total	25.39	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=1.4198

Error: 0.7329 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 1	10.32	4	0.43	A
Finca 2	9.73	4	0.43	A
Finca 3	9.67	4	0.43	A
Finca 4	7.63	4	0.43	B

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

Ceniza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ceniza		16	0.55	0.44	26.13

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	112.49	3	37.5	4.89	0.0191
FINCA	112.49	3	37.5	4.89	0.0191
Error	92.11	12	7.68		
Total	204.61	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=4.5950

Error: 7.6762 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 1	13.77	4	1.39	A
Finca 4	12.63	4	1.39	A
Finca 3	8.49	4	1.39	B
Finca 2	7.52	4	1.39	B

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

EE

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
EE		16	0.09	0	23.82

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.06	3	0.02	0.39	0.7609
FINCA	0.06	3	0.02	0.39	0.7609
Error	0.64	12	0.05		
Total	0.71	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.3843

Error: 0.0537 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 4	1.04	4	0.12 A
Finca 1	1.01	4	0.12 A
Finca 3	0.97	4	0.12 A
Finca 2	0.87	4	0.12 A

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

FC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
FC		16	0.66	0.57	6.12

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	61	3	20.33	7.7	0.0039
FINCA	61	3	20.33	7.7	0.0039
Error	31.68	12	2.64		
Total	92.68	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.6948

Error: 2.6402 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 4	29.23	4	0.81 A
Finca 2	27.63	4	0.81 A
Finca 3	24.7	4	0.81 B
Finca 1	24.68	4	0.81 B

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

FDA

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
FDA		16	0.6	0.51	5.45

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	80.98	3	26.99	6.12	0.0091
FINCA	80.98	3	26.99	6.12	0.0091
Error	52.92	12	4.41		
Total	133.9	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=3.4830

Error: 4.4103 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 4	41.67	4	1.05 A
Finca 1	39.3	4	1.05 B
Finca 2	37.55	4	1.05 B
Finca 3	35.56	4	1.05 B

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

Digest

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Digest		16	0.6	0.51	2.78

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	49.07	3	16.36	6.11	0.0091
FINCA	49.07	3	16.36	6.11	0.0091
Error	32.11	12	2.68		
Total	81.18	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.7131

Error: 2.6761 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 3	61.2	4	0.82 A
Finca 2	59.65	4	0.82 A
Finca 1	58.29	4	0.82 A
Finca 4	56.44	4	0.82 B

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

9.7. Análisis de varianza metano

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
peso final		20	1	1	0.43

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	62540.32	3	20846.77	4215.97	<0.0001
FINCA	62540.32	3	20846.77	4215.97	<0.0001
Error	79.12	16	4.94		
Total	62619.44	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=3.1793

Error: 4.9447 gl: 16

FINCA	Medias	n	E.E.			
Finca 3	572.99	5	0.99	A		
Finca 2	545.61	5	0.99		B	
Finca 1	524.21	5	0.99			C
Finca 4	424.79	5	0.99			D

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

kg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
kg		20	1	1	1.03

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	62540.32	3	20846.77	4215.97	<0.0001
FINCA	62540.32	3	20846.77	4215.97	<0.0001
Error	79.12	16	4.94		
Total	62619.44	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=3.1793

Error: 4.9447 gl: 16

FINCA	Medias	n	E.E.			
Finca 3	272.99	5	0.99	A		
Finca 2	245.61	5	0.99		B	
Finca 1	224.21	5	0.99			C
Finca 4	124.79	5	0.99			D

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

Kg/día

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Kg/día		20	1	1	0.96

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.47	3	0.16	4785.44	<0.0001
FINCA	0.47	3	0.16	4785.44	<0.0001
Error	5.20E-04	16	3.30E-05		
Total	0.47	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.0082

Error: 0.0000 gl: 16

FINCA	Medias	n	E.E.			
Finca 3	0.75	5	2.50E-03	A		
Finca 2	0.67	5	2.50E-03		B	
Finca 1	0.61	5	2.50E-03			C
Finca 4	0.34	5	2.50E-03			D

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

litros

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
litros		20	1	1	0.32

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3777.03	3	1259.01	12250.46	<0.0001
FINCA	3777.03	3	1259.01	12250.46	<0.0001
Error	1.64	16	0.1		
Total	3778.68	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.4583

Error: 0.1028 gl: 16

FINCA	Medias	n	E.E.			
Finca 3	116	5	0.14	A		
Finca 2	106.55	5	0.14		B	
Finca 1	99.44	5	0.14			C
Finca 4	78.64	5	0.14			D

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

kilos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
kilos		20	1	1	0.32

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1936.2	3	645.4	12248.44	<0.0001
FINCA	1936.2	3	645.4	12248.44	<0.0001
Error	0.84	16	0.05		
Total	1937.05	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.3282

Error: 0.0527 gl: 16

FINCA	Medias	n	E.E.				
Finca 3	83.05	5	0.1	A			
Finca 2	76.29	5	0.1		B		
Finca 1	71.2	5	0.1			C	
Finca 4	56.3	5	0.1				D

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

estiercol kg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
estiercol kg		20	1	1	0.21

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	46222.8	3	15407.6	3161.76	<0.0001
FINCA	46222.8	3	15407.6	3161.76	<0.0001
Error	77.97	16	4.87		
Total	46300.77	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=3.1562

Error: 4.8731 gl: 16

FINCA	Medias	n	E.E.				
Finca 3	1115.72	5	0.99	A			
Finca 2	1100.41	5	0.99		B		
Finca 1	1090.72	5	0.99			C	
Finca 4	993.19	5	0.99				D

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

N excre kg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
N excre kg		20	1	1	0.19

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	265.13	3	88.38	19971.83	<0.0001
FINCA	265.13	3	88.38	19971.83	<0.0001
Error	0.07	16	4.40E-03		
Total	265.2	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.0951

Error: 0.0044 gl: 16

FINCA	Medias	n	E.E.			
Finca 3	37.75	5	0.03	A		
Finca 2	36.6	5	0.03		B	
Finca 1	36.35	5	0.03			C
Finca 4	28.58	5	0.03			D

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

litro/kgpv

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
litro/kgpv		20	0.99	0.99	2.02

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.15	3	0.05	508.02	<0.0001
FINCA	0.15	3	0.05	508.02	<0.0001
Error	1.50E-03	16	9.60E-05		
Total	0.15	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.0140

Error: 0.0001 gl: 16

FINCA	Medias	n	E.E.			
Finca 4	0.63	5	4.40E-03	A		
Finca 1	0.44	5	4.40E-03		B	
Finca 2	0.43	5	4.40E-03			C
Finca 3	0.42	5	4.40E-03			C

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

kilo/kgpv

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
kilo/kgpv		20	0.99	0.99	2.02

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.07	3	0.02	509.83	<0.0001
FINCA	0.07	3	0.02	509.83	<0.0001
Error	7.80E-04	16	4.90E-05		
Total	0.08	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.0100

Error: 0.0000 gl: 16

FINCA	Medias	n	E.E.		
Finca 4	0.45	5	3.10E-03	A	
Finca 1	0.32	5	3.10E-03		B
Finca 2	0.31	5	3.10E-03		C
Finca 3	0.3	5	3.10E-03		C

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

9.8. Análisis de varianza de la biomasa de pastos

kg/ha

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
1	kg/ha		12	0.84	0.79	19.63

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1883461.78	3	627820.59	14.51	0.0013
FINCA	1883461.78	3	627820.59	14.51	0.0013
Error	346249.15	8	43281.14		
Total	2229710.94	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=429.7631

Error: 43281.1444 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.		
Finca 1	1649.97	3	120.11	A	
Finca 2	1043.83	3	120.11		B
Finca 3	1011.43	3	120.11		B
Finca 4	533.56	3	120.11		C

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

Biomasa (MS) (g/m²)

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Biomasa (MS) (g/m ²)	12	0.84	0.79	19.64

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18842.41	3	6280.8	14.5	0.0013
FINCA	18842.41	3	6280.8	14.5	0.0013
Error	3464.52	8	433.07		
Total	22306.93	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=42.9889

Error: 433.0650 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 1	165.00	3	12.01	A
Finca 2	104.37	3	12.01	B
Finca 3	101.17	3	12.01	B
Finca 4	53.33	3	12.01	C

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

%MS

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	%MS	12	0.41	0.2	4.27

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.62	3	1.87	1.89	0.2095
FINCA	5.62	3	1.87	1.89	0.2095
Error	7.93	8	0.99		
Total	13.55	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.0563

Error: 0.9908 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 3	24	3	0.57	A
Finca 4	23.9	3	0.57	A
Finca 2	23	3	0.57	A
Finca 1	22.33	3	0.57	A

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

kg/ha

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
	2 kg/ha		16	0.9	0.88	14.64

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1642623.88	3	547541.29	37.18	<0.0001
FINCA	1642623.88	3	547541.29	37.18	<0.0001
Error	176708.25	12	14725.69		
Total	1819332.13	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=201.2581

Error: 14725.6875 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 1	1218.52	4	60.67	A
Finca 2	907.63	4	60.67	B
Finca 3	862.07	4	60.67	B
Finca 4	327.35	4	60.67	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)Biomasa (MS) (g/m²)

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
	Biomasa (MS) 2 (g/m ²)		16	0.9	0.88	14.64

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16428.58	3	5476.19	37.2	<0.0001
FINCA	16428.58	3	5476.19	37.2	<0.0001
Error	1766.65	12	147.22		
Total	18195.22	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=20.1233

Error: 147.2206 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 1	121.85	4	6.07	A
Finca 2	90.75	4	6.07	B

Finca 3	86.2	4	6.07	B	
Finca 4	32.73	4	6.07		C

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

%MS

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	%MS		16	0.19	0
					6.88

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.18	3	2.39	0.96	0.4421
FINCA	7.18	3	2.39	0.96	0.4421
Error	29.83	12	2.49		
Total	37.01	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.6150

Error: 2.4860 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 1	23.78	4	0.79 A
Finca 2	23.28	4	0.79 A
Finca 3	22.55	4	0.79 A
Finca 4	22.03	4	0.79 A

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

kg/ha

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
3	kg/ha		16	0.79	0.73
					22.54

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1713204.5	3	571068.17	14.73	0.0003
FINCA	1713204.5	3	571068.17	14.73	0.0003
Error	465280.39	12	38773.37		
Total	2178484.89	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=326.5745

Error: 38773.3656 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.
-------	--------	---	------

Finca 1	1249.95	4	98.45	A
Finca 2	957.2	4	98.45	A
Finca 3	938.85	4	98.45	A
Finca 4	348.8	4	98.45	B

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

Biomasa (MS) (g/m²)

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
3	Biomasa (MS) (g/m ²)		16	0.79	0.73	22.53

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	17145.95	3	5715.32	14.74	0.0003
FINCA	17145.95	3	5715.32	14.74	0.0003
Error	4652.03	12	387.67		
Total	21797.98	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=32.6547

Error: 387.6688 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 1	125.03	4	9.84 A
Finca 2	95.75	4	9.84 A
Finca 3	93.9	4	9.84 A
Finca 4	34.88	4	9.84 B

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

%MS

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
3	%MS		16	0.08	0	6.44

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.61	3	0.87	0.36	0.7803
FINCA	2.61	3	0.87	0.36	0.7803
Error	28.69	12	2.39		
Total	31.3	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.5644

Error: 2.3908 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 3	24.63	4	0.77 A
Finca 1	24.08	4	0.77 A
Finca 2	23.73	4	0.77 A
Finca 4	23.58	4	0.77 A

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

kg/ha

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
4	kg/ha		16	0.9	0.87	16.83

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1658771.41	3	552923.8	34.47	<0.0001
FINCA	1658771.41	3	552923.8	34.47	<0.0001
Error	192483.65	12	16040.3		
Total	1851255.06	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=210.0496

Error: 16040.3042 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 1	1165.48	4	63.33 A
Finca 2	859.7	4	63.33 B
Finca 3	712.5	4	63.33 B
Finca 4	271.82	4	63.33 C

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

Biomasa (MS) (g/m²)

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
4	Biomasa (MS) (g/m ²)		16	0.9	0.87	16.82

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16579.93	3	5526.64	34.5	<0.0001
FINCA	16579.93	3	5526.64	34.5	<0.0001
Error	1922.33	12	160.19		
Total	18502.26	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=20.9913

Error: 160.1942 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.		
Finca 1	116.55	4	6.33	A	
Finca 2	85.95	4	6.33		B
Finca 3	71.25	4	6.33		B
Finca 4	27.2	4	6.33		C

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

%MS

Evaluación	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
4	%MS		16	0.22	0.03	6.58

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.24	3	2.75	1.13	0.3756
FINCA	8.24	3	2.75	1.13	0.3756
Error	29.16	12	2.43		
Total	37.4	15			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.5851

Error: 2.4296 gl: 12

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 2	24.53	4	0.78	A
Finca 4	24.23	4	0.78	A
Finca 3	23.25	4	0.78	A
Finca 1	22.75	4	0.78	A

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

9.9. Galería de fotos



Figura 1. Identificación de las especies palatables.



Figura 2. Realizando la uniformidad para realizar las evaluaciones.



Figura 3. Medición de la temperatura del suelo (geotermómetros)



Figura 4. Medición de la compactación de suelo.



Figura 5. Rotulación de las bolsas de muestreo.



Figura 6. Cosecha de muestras usando el metro cuadrado.



Figura 7. Cosecha de muestras.



Figura 8. Cosecha de muestras.



Figura 9. Cosecha de muestras.



Figura 10. Medición de las especies arbóreas.



Figura 11. Pesado de muestras



Figura 12. Muestras puestas a la estufa.