

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA ANIMAL**



**“HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y
EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL EN FINCAS
GANADERAS DEL TRÓPICO HÚMEDO PERUANO”**

Presentada por:

DEYSI YENNY RUIZ LLONTOP

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN CIENCIA ANIMAL**

Lima - Perú

2024

Tesis Huella de carbono leche

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	15%	7%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	www.fontagro.org Fuente de Internet	<1%
4	link.springer.com Fuente de Internet	<1%
5	orcid.org Fuente de Internet	<1%
6	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1%
7	cipav.org.co Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA ANIMAL**

**“HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y
EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL EN FINCAS
GANADERAS DEL TRÓPICO HÚMEDO PERUANO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE**

Presentada por:

DEYSI YENNY RUIZ LLONTOP

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Jorge Calderón Velásquez
PRESIDENTE

Ph.D. Carlos Gómez Bravo
ASESOR

Ph.D. María Helena Souza de Abreu
MIEMBRO

Ph.D. Julio Alegre Orihuela
MIEMBRO

Dr. Joaquin Miguel Castro Montoya
MIEMBRO EXTERNO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios por otorgarme virtudes y cualidades que me han ayudado en el transcurso de mi trayectoria profesional. A Él, por brindarme las fortalezas que han marcado mi camino y llevarme hasta este punto.

A mi padre Hernán, a mi madre Teresa, y a mis hermanos Hernán, Daleyska y Anyela, les dedico mi logro. Su influencia ha sido fundamental en la formación de valores como la perseverancia, responsabilidad, respeto y honestidad. Gracias a su constante presencia, apoyo absoluto y enseñanzas, he alcanzado metas que jamás creí posibles.

A mis familiares y amigos, quienes me han mostrado su respaldo en momentos de enfermedad, me han infundido ánimo para seguir adelante y dar todo de mí en la consecución de este logro.

IN MEMORIAM

En honor a mi abuelita Mercedes (mami meche), mi hermanito Alex Eber y mi abuelito Francisco, aunque ya no están físicamente conmigo, siempre vivirán en mi corazón. Su legado de amor y enseñanzas estará presente en cada momento de mi vida. Gracias por su amor, consejos y cuidados.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por ser la fuente de inspiración en este trabajo de investigación. Agradezco por guiar mis pasos, abrir caminos, y permanecer a mi lado en cada momento. Mi gratitud se extiende por todo lo que me has brindado: una familia maravillosa y unida, los logros alcanzados hasta ahora y los éxitos que aún están por venir.

A mis padres y hermanos les dedico un agradecimiento especial. Su apoyo ha sido fundamental a lo largo de mi carrera, acompañándome en los momentos más difíciles, y compartiendo conmigo la dicha de este maravilloso logro. Agradezco sinceramente su apoyo constante, que ha sido la guía fundamental que me ha conducido hasta este momento.

El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC) y el Fondo Nacional para el Desarrollo de la Ciencia, Tecnología e Innovación (FONDECYT), quienes financiaron mi investigación doctoral en Ciencia Animal (Convenio de Subvención N° 178 - 2015 - FONDECYT).

Al Programa ERASMUS+ por haber financiado mis prácticas en Nitra, Eslovaquia (los meses de febrero a mayo del 2022)

Al programa DAAD Germany Cooperative Internship Programme (Contrato N° 422-2019) por el financiamiento de mi pasantía a Kiel, Alemania (mayo a junio del 2022)

Agradezco a mis profesores, especialmente a mi asesor el Ph. D. Carlos Gómez, el Ph. D. Eduardo Fuentes, el Ph. D. José Velarde-Guillén y el Ph. D. Eric Rendón, quienes han sido pilares fundamentales en este proceso de investigación. Su guía y sus enseñanzas han enriquecido mi conocimiento de manera invaluable, y valoro profundamente su dedicación y contribuciones.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 PRODUCCIÓN DE LECHE A NIVEL NACIONAL	3
2.2 LA AMAZONÍA PERUANA Y LA GANADERÍA VACUNA.....	3
2.3 IMPACTO AMBIENTAL DE LA GANADERÍA DE TRÓPICO	4
2.4 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	5
2.5 HUELLA DE CARBONO	6
2.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN GANADERA.....	7
2.7 ESTRATEGIAS DE MEJORA ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD GANADERA EN ZONAS TROPICALES	9
2.7.1 Implementación de sistemas silvopastoriles	10
2.7.2 Uso de bloques multinutricionales.....	13
2.8. INICIATIVAS REGIONALES PARA LA PROMOCIÓN DE GANADERÍA SOSTENIBLE EN EL TRÓPICO	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y SELECCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO	16
3.2 DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LAS FINCAS GANADERAS	21
3.2.1 Definición del objetivo y alcance	21
3.2.2 Análisis de inventario	26
3.2.3 Evaluación del impacto	33
3.2.4 Interpretación.....	34
3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA SIMULACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SILVOPASTORILES Y USO DE BLOQUES MULTINUTRICIONALES EN FINCAS LECHERAS DE LA REGIÓN SAN MARTÍN	34
3.3.1 Recolección de datos	35
3.3.2 Construcción de escenarios	36
3.3.3 Análisis económico.....	36
3.3.4 Análisis ambiental	36
3.3.5 Estrategias ganaderas.....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
4.1 CARACTERIZACIÓN DE FINCAS EVALUADAS EN LA REGIÓN SAN MARTÍN	55

4.2 ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE	58
4.2.1 Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en fincas productoras de leche	58
4.2.2 Huella de carbono según tipo de asignación: de masas y económica.....	63
4.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA SIMULACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORA GANADERA EN FINCAS DE LA REGIÓN SAN MARTÍN.....	70
4.3.1 Simulación de la implementación de arreglos silvopastoriles en callejones con Bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> mart.), Capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i>) y Brachiaria (<i>Brachiaria brizantha</i>) versus sistema pastoril con Brachiaria (<i>Brachiaria brizantha</i>) en la región San Martín	70
4.3.2 Simulación del uso de bloques multinutricionales en fincas pastoriles de la región San Martín	84
4.4 UNA GANADERÍA SOSTENIBLE: ENFOQUE HOLÍSTICO	93
V. CONCLUSIONES	96
VI. RECOMENDACIONES	97
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
VIII. ANEXOS	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis de Factores Cualitativos Ponderados para la selección de la provincia, región San Martín.....	17
Tabla 2: Análisis de Factores Cualitativos Ponderados para la selección del distrito, región San Martín	19
Tabla 3: Ingesta de materia seca requerida para vacas en seca basada en la calidad del forraje	29
Tabla 4: Potenciales de calentamiento global (PCG) usados para la estimación de gases de efecto invernadero	34
Tabla 5: Escenarios y principales características de cada escenario propuesto para la estrategia uno en fincas de la región San Martín	38
Tabla 6: Supuestos considerados para el escenario de la estrategia uno en fincas de la región San Martín.....	40
Tabla 7: Composición nutricional de los insumos utilizados para elaborar el bloque multinutricional en fincas de la región San Martín.....	45
Tabla 8: Formulación y costo total del bloque multinutricional en fincas pastoriles de la región San Martín.....	46
Tabla 9: Requerimiento de ENI (MJ) para producir un kilo de leche en fincas pastoriles de la región San Martín.....	46
Tabla 10: Consumo de energía anual para el escenario sin bloque multinutricional, en fincas pastoriles de la región San Martín	49
Tabla 11: Consumo de energía anual para el escenario con bloque multinutricional, en fincas pastoriles de la región San Martín	49
Tabla 12: Producción de leche (kg) sin la suplementación de bloques multinutricionales (BMN) y con la suplementación de BMN de forma anual, para fincas pastoriles de la región San Martín.....	50
Tabla 13: Costo de inversión anual de los bloques multinutricionales en fincas pastoriles de la región San Martín	51
Tabla 14: Características y supuestos del escenario sin el uso de bloques	52

Tabla 15: Características y supuestos del escenario con el uso de bloques multinutricionales en fincas pastoriles de la región San Martín	53
Tabla 16: Características generales de cada finca evaluada en la región San Martín	56
Tabla 17: Fuentes de emisión en kg de CO ₂ e para cada finca evaluada en la región San Martín	59
Tabla 18: Emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) según fuente de emisión, para asignación de masas y asignación económica en cada finca evaluada de la región San Martín	63
Tabla 19: Descripción anual del componente productivo en cada una de las fincas ganaderas modeladas para la región San Martín	72
Tabla 20: Utilidad Bruta Anual (en soles) para cada una de las fincas ganaderas modeladas para la región San Martín	73
Tabla 21: Valor Actual Neto Económico (VANE), Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) y Relación Beneficio/Costo (BCR) de los sistemas pastoriles y silvopastoriles considerando diferentes tasas de descuento, en la región San Martín	76
Tabla 22: Emisión de metano entérico (kg) por animal por año para escenarios pastoriles y silvopastoriles de fincas ganaderas en la región San Martín	79
Tabla 23: Emisión de metano entérico anual (en kg CH ₄ y kg CO ₂ e) e intensidad de emisión para cada escenario pastoril y silvopastoril modelado en la región San Martín	80
Tabla 24: Secuestro de carbono total (t CO ₂ e) en cada escenario modelado para fincas de la región San Martín	83
Tabla 25: Contribución del bloque multinutricional (BMN) a la producción de leche en fincas pastoriles de la región San Martín	85
Tabla 26: Estado de ganancias y pérdidas anuales sin la suplementación de bloques multinutricionales, en fincas pastoriles de la región San Martín	87
Tabla 27: Estado de ganancias y pérdidas anuales con la suplementación de bloques multinutricionales, en fincas pastoriles de la región San Martín	87
Tabla 28: Flujo de caja diferencial durante 10 años de evaluación para fincas pastoriles de la región San Martín	88

Tabla 29: Valor Actual Neto Económico con el uso de bloques multinutricionales durante 10 años de evaluación, para fincas pastoriles de la región San Martín.....	90
Tabla 30 Tasa Interna de Retorno Económico con el uso de bloques multinutricionales durante 10 años de evaluación, para fincas pastoriles de la región San Martín.....	90
Tabla 31: Ratio Beneficio-Costo con el uso de bloques multinutricionales para fincas pastoriles de la región San Martín.....	91
Tabla 32: Análisis de la contribución ambiental del uso de bloques multinutricionales (BMN), en fincas pastoriles de la región San Martín.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización del distrito de Juan Guerra en la provincia de San Martín, región de San Martín.....	21
Figura 2: Delimitación del sistema de la producción de leche en cada una de las fincas evaluadas, región San Martín.....	23
Figura 3: Esquema del proceso a seguir para la evaluación económica y ambiental de la simulación de estrategias para una ganadería sostenible en fincas de la región San Martín	36
Figura 4: Diagrama de flujo para la simulación del uso de bloques multinutricionales en fincas pastoriles de la región San Martín	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Encuesta sobre huella de carbono y evaluación económica y ambiental de fincas en la región San Martín	133
--	-----

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo calcular la huella de carbono (HC) de la producción de leche mediante el uso del análisis de ciclo de vida y realizar la evaluación económica y ambiental (EEA) por modelación, de la implementación de sistemas silvopastoriles (SSP) y uso de bloques multinutricionales (BMN) en pequeñas fincas ganaderas del trópico húmedo peruano. La metodología utilizada incluyó ecuaciones del Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático del año 2019 (Nivel 1 y 2), así como un análisis de flujo de caja descontado, el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la Ratio Beneficio/Costo (BCR) y el Software Agrosilvopastoril v. 19.1. La HC varió según el enfoque de asignación (de masas y económica). Con asignación de masas fue de 2.14 ± 0.16 kg CO₂e/kg de leche corregida a grasa y proteína (LCGP), y con asignación económica alcanzó 1.46 ± 0.12 kg CO₂e/kg LCGP. La emisión de metano por fermentación entérica fue la principal fuente de gases de efecto invernadero, seguida de la emisión de óxido nitroso por manejo de estiércol. En la EEA, los escenarios silvopastoriles, especialmente las fincas más grandes (30 ha), destacaron con un VAN positivo y una TIR rentable (14.56 %). Además, la implementación de SSP redujo la intensidad de emisión de metano entérico (18.80 %) y aumentó el secuestro de carbono (26.36 %). La estrategia BMN también resultó eficiente, con un VAN positivo y una TIR rentable (22.39 %), así como reduciendo la intensidad de emisión de metano entérico (3.09 %).

Palabras clave: análisis de ciclo de vida, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, rentabilidad económica, sistemas silvopastoriles.

ABSTRACT

This study aimed to calculate the carbon footprint (CF) of milk production using life cycle analysis and to conduct economic and environmental assessment (EEA) through modeling of the implementation of silvopastoral systems (SSP) and the use of multi-nutrient blocks (BMN) on small livestock farms in the Peruvian humid tropics. The methodology used included equations from the Intergovernmental Panel on Climate Change of 2019 (Levels 1 and 2), as well as a discounted cash flow analysis, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit/Cost Ratio (BCR), and Agrosilvopastoral Software v. 19.1. The CF varied depending on the allocation approach (mass and economic). With mass allocation, it was 2.14 ± 0.16 kg CO₂e/kg of corrected milk to fat and protein (CMFP), and with economic allocation, it reached 1.46 ± 0.12 kg CO₂e/kg CMFP. Methane emissions from enteric fermentation were the main greenhouse gas source, followed by manure management nitrous oxide emissions. In the EEA, silvopastoral scenarios, especially on larger farms (30 ha), stood out with a positive NPV and a profitable IRR (14.56%). Furthermore, implementing SSP reduced methane emissions (18.80%) and increased carbon sequestration (26.36%). The BMN strategy also proved efficient, with a positive NPV and a profitable IRR (22.39%) and reducing enteric methane emission intensity (3.09%).

Keywords: life cycle analysis, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, economic profitability, silvopastoral systems.

I. INTRODUCCIÓN

Se tiene la expectativa de que la humanidad alcance los 9.600 millones en 2050 (ONU, 2019). Un aumento de la población, combinado con otros factores demográficos como la edad y la urbanización, creará una mayor demanda de alimentos (Steinfeld *et al.* 2009). Para satisfacer esta mayor demanda, es necesario producir más alimentos a partir de fuentes vegetales y animales. Si bien el ganado es importante para la nutrición humana, incluso es una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que representan dentro de las emisiones globales del 7 al 18 % (Gerber *et al.* 2013).

Los GEI son una combinación de gases que están en el medio ambiente, los cuales incorporan y transmiten radiación en longitudes de onda específicas (IPCC 2018). Estos gases mantienen una temperatura promedio global (Darkwah *et al.* 2017). Sin embargo, su incremento es una de las razones fundamentales del calentamiento de la tierra (IPCC 2014; Means y Lallanilla 2021). Los principales gases que producen el efecto invernadero en la tierra son el vapor de agua, dióxido de carbono, óxido nitroso, metano y el ozono (IPCC 2018).

El Perú registra anualmente las emisiones de GEI utilizando la metodología Nivel 1 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), mientras que otros países utilizan niveles 2 o 3 (FAO 2015). Por lo tanto, este estudio busca generar factores de emisión para metano entérico, metano de las excretas y óxido nitroso debido al manejo de excretas, utilizando ecuaciones del Nivel 2. Estos factores serán útiles para futuros inventarios en la región tropical del país. De esta manera, se pretende contribuir al cumplimiento de algunos acuerdos internacionales, como el Acuerdo de París, que fija como meta reducir los GEI al 30% hasta el 2030 (INDC 2015) según lo estipulado en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDCs).

En este contexto, una opción para promover la producción sostenible es la incorporación y expansión de sistemas silvopastoriles (SSP) en regiones tropicales de nuestro país. Los SSP representan una herramienta eficaz para prevenir y reducir la deforestación, proporcionar

ingresos diversificados para los agricultores, favorecer la disminución de los GEI así como contribuir a la conservación del carbono (Pezo *et al.* 2019). Así también, según la FAO (2007) otra estrategia utilizada por algunos países alrededor del mundo, incluyendo algunos países de Sudamérica y del Caribe, es emplear bloques multinutricionales (BMN). Estos suplementos alimenticios son utilizados por diversas especies animales especialmente durante la estación seca, los cuales proporcionan un significativo aporte de energía y proteína debido a la inclusión de urea (MAG-Costa Rica 2011; Livas 2019).

Sin embargo, la adopción de estas estrategias en la mayor parte de Lationamérica y del Caribe se enfrentan importantes desafíos, dado que el 23% de la superficie agrícola está en manos de pequeños agricultores (FAO 2014). Además, en el caso de los SSP, el retorno de la inversión en SSP suele tardar entre 3 y 5 años (Ávila y Revolio 2012; Lee *et al.* 2020). Además, la facilidad de créditos representa uno de los inconvenientes más decisivos para los pequeños ganaderos al momento de invertir, junto con el limitado acceso a fuentes de financiamiento (Molina y Victorero 2015).

En respuesta a estos desafíos, México y algunos países de Sudamérica están implementando propuestas públicas y del sector privado con el fin de impulsar programas de ajuste estructural a los actuales sistemas de producción ganadera. Costa Rica y Uruguay también están diseñando enfoques para reducir las emisiones en la ganadería, como la adopción de SSP (MAG-Costa Rica 2015; FAO/PNUD 2017). En Perú, como parte de sus NDCs, el gobierno ha estado promoviendo la introducción de pasturas mejoradas, así como fomentar la inserción arbórea en arreglos silvopastoriles para capturar CO₂ y restablecer suelos deteriorados en nuestra selva (GTM-NDC 2018).

Por consiguiente, el propósito de este trabajo es calcular la huella de carbono de la producción de leche y realizar una evaluación económica y ambiental de la simulación de estrategias en fincas ganaderas del trópico húmedo peruano. Se plantearon como objetivos específicos: a) Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de leche. b) Analizar indicadores económicos y ambientales de la simulación de la estrategia silvopastoralismo y el uso de bloques multinutricionales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 PRODUCCIÓN DE LECHE A NIVEL NACIONAL

A nivel nacional, Perú produce alrededor de 7.7 kg leche por vaca al día, y el consumo por habitantes de 81 kg leche por persona anual (GAIN Report USDA-FAS 2021; MIDAGRI 2021). Sin embargo, según MIDAGRI (2017) se aspira alcanzar 9.8 kg leche por vaca al día y elevar el consumo per cápita a 120 kg leche/persona/año para el año 2027.

Esta baja productividad se atribuye al hecho de que la ganadería peruana está mayoritariamente compuesta por pequeñas comunidades y propiedades privadas (Rosemberg 2000). Tanto el componente agrícola como ganadero son parte integral del sistema productivo familiar (Espinosa 1996).

A nivel nacional, el 86% de las unidades agropecuarias (UA) están compuestas por ganaderos que tienen entre 1- 9 cabezas de ganado, seguidos por los ganaderos de nivel intermedio con 10 - 49 animales, que representan el 13% de las UA (MINAGRI 2013).

2.2 LA AMAZONÍA PERUANA Y LA GANADERÍA VACUNA

La región amazónica del Perú, que comprende el 20% de las unidades agropecuarias según el INEI (2007), desempeña un papel crucial en la economía agrícola del país (Robiglio *et al.* 2015). Según el INEI (2007), aproximadamente el 60% del territorio peruano se encuentra en esta región. Desde una perspectiva político-administrativa, la Selva peruana cubre completamente Loreto, Ucayali y Madre de Dios; casi totalmente Amazonas y San Martín; partes de Huánuco, Pasco, Junín y Cusco; y pequeñas áreas de Cajamarca, Ayacucho y Puno (Barrantes 2014; Orihuela 2021). Según el censo agropecuario de 2012 se reporta la presencia de 515,600 cabezas de ganado en esta área (Rosemberg 2018).

Los sistemas ganaderos en la Amazonía peruana se conocen por usar ganado que ha sido mezclado con diversas razas que incluyen el criollo, cebú y europeo (Vásquez 2009). Así lo indica Flores (1992), que los hatos ganaderos en la Amazonía peruana se basan esencialmente en razas cebuinas (*Bos indicus*) especialmente la clase Brahman. Además, está el Nelore, que se ha mezclado con Pardo Suizo para incrementar la producción cárnica y láctea. Además de la ganadería cebuina, se encuentra el ganado Brown Swiss y sus híbridos, que representan buena parte de los animales vacunos en esta zona (Vásquez 2009). Por último, se están observando cruces de Holstein con Gyr en la selva peruana, conocidos como Girolando (5/8 Holstein, 3/8 Gyr), una raza traída de Brasil, considerada la más versátil del mundo tropical (Perulactea 2012; RCR 2019).

Por otro lado, en el ámbito de San Martín, gran cantidad de fincas se dedican a la crianza de vacunos de carne y leche, con un rendimiento de 33,763 y 6,255 toneladas de leche y carne al año, respectivamente (MINAGRI 2019). El desempeño lácteo diario promedio es de 6.07 litros por animal a nivel regional (DRASAM 2016). No obstante, los distritos de Cuñumbuque y Juan Guerra (zonas de Alto Mayo y Bajo Mayo), presentan producciones de leche superiores al promedio en la región (DRASAM 2016).

2.3. IMPACTO AMBIENTAL DE LA GANADERÍA DE TRÓPICO

De acuerdo con un informe de Steinfeld (2009), la ganadería contribuye hasta con el 18% de las emisiones totales generadas por cinco sectores, energía, industria, residuos, uso y cambio de uso de la tierra, silvicultura y agricultura. Específicamente, los dos últimos sectores son responsables de más del 50% de los GEI a nivel global.

El sector ganadero tiene un impacto ambiental significativo debido a la liberación de GEI a la atmósfera. La producción de dióxido de carbono se debe a la deforestación, degradación de pastizales, conversión de tierras en pastizales y tierras de cultivos forrajeros, así como del uso de tecnologías que emplean combustibles fósiles en sistemas de producción intensivos. Por otro lado, la generación de metano es a partir del metabolismo fermentativo y del proceso de descomposición del estiércol, en tanto que el óxido nitroso se ocasiona debido a la gestión del estiércol y el empleo de abonos orgánicos y químicos (Steinfeld 2009).

En Sudamérica y países del Caribe la generación de productos alimentarios y la garantía alimentaria en el mundo están altamente vinculadas al sector agropecuario. Actualmente, la industria está experimentando un rápido acrecentamiento en la región amazónica, particularmente debido a la deforestación, la producción intensiva de aves y cerdos para ganadería y producción de alimentos, y las amenazas a las riquezas naturales. Sin embargo, este crecimiento puede convertirse en una fuente de oportunidades si se adoptan normativas apropiadas, así como el impulso de sistemas ganaderos sostenibles que respeten el medio ambiente, a través de estrategias de producción técnicamente viables, rentables, socialmente justas y ambientalmente sostenibles (FAO 2023).

En la región, existen numerosos estudios en diferentes países como Colombia, Brasil, Uruguay, Perú y Costa Rica, que han evaluado la repercusión en el ambiente del sector ganadero mediante investigaciones en huella de carbono en el rendimiento lechero y cárnico, pero también la captura de carbono gracias a la agroforestería (Alegre *et al.* 2012; Lizarralde *et al.* 2014; Murgueitio 2014; Cerri *et al.* 2015; Vistoso *et al.* 2015; Fluker *et al.* 2016; Wattiaux *et al.* 2016; Yepes y Sarmiento 2016; Del Castillo 2018; Mathios *et al.* 2019; Pezo *et al.* 2019; Alvarado-Bolovich *et al.* 2021). Así también, otros trabajos han muestreado avances en la estimación de la cantidad actual de los GEI en Latinoamérica, así como algunas estrategias, planes y mecanismos que se están implementando para mitigar sus efectos negativos (Moreira 2015; FAO 2018; Fuentes *et al.* 2022; FEDEGAN 2023).

2.4 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es un método utilizado para identificar los componentes ambientales ligados a un producto, mediante la recopilación de datos con un inventario de los ingresos y egresos substanciales para el sistema (ISO 2006a). Entre los efectos al ambiente se encuentran el Cambio climático (Huella de carbono), acidificación, eutrofización, otros efectos tóxicos en humanos y ecosistemas, agotamiento de combustibles fósiles y minerales, además de otros impactos que pueden ser relevantes, pero que tal vez son menos esenciales (Goedkoop *et al.* 2016).

El ACV examina de manera exhaustiva todas las emisiones a la atmósfera, cuerpos de agua, suelo y recursos, destacando su enfoque global al considerar el traslado de impacto

entre categorías, etapas del ciclo de vida, países, entre otros aspectos (Bartl *et al.* 2011). Esta herramienta proporciona un esquema integral para detectar estrategias efectivas que puedan reducir las cargas ambientales. Además, el ACV permite evaluar el impacto de modificaciones en los procesos productivos en el balance global de estas cargas ambientales (Opio *et al.* 2013).

Los estudios de ACV pueden abordar la totalidad de la cadena productiva de un producto, por ejemplo, la leche, desde la recolección y proceso previo al procesamiento del producto primario necesario pasando por la fabricación, hasta su empleo, reutilización y/o terminación. Esta evaluación se identifica como “de la cuna a la tumba” (“cradle to grave”). Aunque, las mediciones más comunes se limitan desde su inicio hasta la puerta de la granja, denominado “de la cuna a la tranquera” (“cradle to farm-gate”). Este enfoque evalúa la totalidad de elementos que entran al sistema y las salidas integrales desde este, considerando únicamente como límite la puerta de la finca (Faverin 2019; Cederberg y Stadig 2003).

Además, los GEI relacionados a la manufacturación de piensos externos a la finca, como abonos químicos y dietas balanceadas, se podrían incorporar a modelos de análisis de sistemas y ACV (Phetteplace *et al.* 2001). Este enfoque holístico permite una evaluación integral de todos los impactos sobre el medio ambiente durante su línea de producción, considerando tanto factores internos como externos a la finca.

2.5 HUELLA DE CARBONO

La huella de carbono (HC) es uno de los impactos ambientales medidos por un ACV, este efecto al ambiente es conocido con el nombre de “Cambio climático” (Goedkoop *et al.* 2016). La HC mide la magnitud de emisiones de GEI directas e indirectas generadas y liberadas al ambiente durante el ciclo de vida de un bien o servicio durante la cadena de distribución. Esta cadena incluye desde la siembra, proceso de producción y recolección de los productos, hasta el procesado, conservación y venta (traslado y almacenamiento frigorífico). En algunos estudios, se incluye el procedimiento completo desde la elaboración hasta su aprovechamiento por el comprador final, incluyendo su reutilización y su remoción (Vistoso *et al.* 2015).

Así también, la huella de carbono de un producto se define como la cantidad de las

emisiones que generan los GEI en el curso de su vida útil, delimitado por ciertos límites del sistema. Por ejemplo, se puede calcular la huella de carbono de un litro de leche semidesnatada, envasada con un tipo específico de cartón de papel, desde el inicio del proceso hasta que la leche sale de la planta de fabricación (IDF 2015).

La manera de medir las emisiones de gases de efecto invernadero, es en términos de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), las cuales se tienen al multiplicar las emisiones de un gas por su potencial de calentamiento global (PCG) para un período de tiempo de aproximadamente 100 años (IPCC 2019a).

Existen numerosos trabajos que han evaluado la intensidad de emisión de la producción láctea en fincas (comerciales, orgánicas, convencionales). En estos estudios, se evaluaron las emisiones de metano generadas por la fermentación digestiva del rumiante, del excremento de los animales (dependiendo de su almacenamiento y manejo), de los fertilizantes, del pasto y las emisiones producidas por insumos destinados a la alimentación (pasturas, residuos de cultivos, entre otros) (Amon *et al.* 2006; Kristensen *et al.* 2010; Warnecke *et al.* 2014).

2.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN GANADERA

Mejorar la productividad en la ganadería a pequeña escala es un desafío clave que involucra la eficiente utilización de insumos en la producción y la adaptación a condiciones que promuevan su continuidad y sostenibilidad económica. En este contexto, la evaluación económica se expone como un recurso fundamental para identificar y contrastar los costos y resultados de políticas públicas. Su propósito central es maximizar los beneficios sociales, proporcionando información decisiva para que los encargados de pronunciarse financien aquellos servicios que ofrecen los resultados más efectivos (Parera 2009).

Según el MEF (2011), entre los indicadores económicos ampliamente utilizados en la medición de la rentabilidad económica de una inversión, se encuentran el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la ratio beneficio costo (BCR).

Yan y Zhang (2022) explican que la Tasa interna de rendimiento es un tipo de descuento que equipara el capital al flujo de caja resultante. Sin embargo, por sí sola, no se considera una medida de inversión a menos que se cuente con un costo de tasa crítica que sirva

como comparador. Asimismo, Solé (2011) menciona que la TIR examina una propuesta referente a una tasa de rentabilidad, mediante el cálculo de todos los flujos de tesorería, favorables o desfavorables, actualizados a valor actual, que son equivalentes al capital inicial. La TIR representa el tipo bancario que, impuesto a un flujo de caja neto, hace que la utilidad en el año cero sea igual a cero.

Por otro lado, Gallo (2014) señala que el valor presente neto (VPN) representa el valor actual de liquidez de la propuesta comparada con su patrimonio inicial al ratio de rendimiento requerido. De acuerdo con Yan y Zhang (2022), la estimación del VPN consiste en restar el valor actual de las salidas de dinero del valor actual de los flujos de dinero, lo que supone que el valor presente representa un volumen venidero de efectivo.

De la misma manera, Puga (2018) menciona que el VAN es un indicador financiero para estimar el valor actual de flujos de tesorería próximos. El método descuenta un tipo de interés similar durante el tiempo examinado. El tipo de interés de mercado es la tasa de prorratio o retorno mínimo esperado. Si el capital resulta deriva en un valor más alto que la ganancia líquida, en concreto es un VAN desfavorable. Si la ganancia líquida es igual al capital (VAN igual a cero), se alcanzó la referida cifra. Si el beneficio neto es mayor que el patrimonio (VAN positivo), se ha logrado alcanzar el susodicha ratio, asimismo, se ha fomentado una ganancia extra.

Otro indicador crucial de rentabilidad, ampliamente abordado en la literatura económica, es la ratio beneficio-costos (BCR). Según Hayes (2022), es un indicador que muestra el grado de asociación entre los gastos relativos y la utilidad de un proyecto propuesto. Además, según Shively (2012), el cálculo de la BCR implica separar la cifra presente de los beneficios entre la cifra presente de los gastos. Si la BCR es superior a uno, esto sugiere que el proyecto podría ser considerado como una opción viable para su aceptación. Asimismo, Vázquez (2020) destaca que, esta ratio quedará muy alta cuanto más grande se vuelva la ganancia adquirida por el patrocinador y más bajo se convierta su precio, lo que representa un diagnóstico primordial para cualquier actividad económica.

A nivel nacional existen pocos trabajos que han ejecutado una evaluación de la rentabilidad de la crianza de ganado en la zona tropical (Chizmar *et al.* 2020; Ramírez 2020). Sin embargo, se necesitan investigaciones más exhaustivas para comprender la

dinámica de esta actividad a lo largo del tiempo. De esta manera, los pequeños productores podrán analizar las falencias y proponer estrategias que les permitan recuperarse rápidamente ante situaciones adversas.

2.7 ESTRATEGIAS DE MEJORA ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD GANADERA EN ZONAS TROPICALES

Algunos países han implementado diversas estrategias para afrontar las repercusiones adversas de las variaciones que están dando en el ambiente y el clima. Por ejemplo, Ecuador, país vecino que ha introducido un plan estratégico para combatir la problemática relacionada con la tenencia de la tierra, control forestal (reforestación), establecimiento de sistemas agroforestales, el manejo de desechos sólidos, construcción de albarradas y andenes, y técnicas de riego eficientes (Moreira 2015). Asimismo, en Colombia se están desarrollando proyectos de ganadería sostenible que involucran la incorporación de arreglos silvopastoriles que mejoren los ecosistemas, haciendo uso de mecanismos como pago por servicios ecológicos locales, apoyando préstamos para los ganaderos además de fomentar la conservación de bosques nativos (FEDEGAN 2023).

Otro caso exitoso es Costa Rica, país que ha implementado el PSA para incentivar a los productores a utilizar SSP. Además, se han establecido sistemas agroforestales que combinan el cultivo de cacao con especies forestales como laurel (*Cordia alliodora*), cedro (*Cedrela odorata*) y erythrina (*Erythrina sp.*) Del mismo modo, México ha propuesto la tecnificación de riego (por goteo y microaspersión), modernización de activos productivos como infraestructura e inversión en bienes de capital estratégicos, acceso a los mercados, la cosecha y almacenamiento de agua; además, el establecimiento de invernaderos (Moreira 2015).

De manera similar, países como Honduras, Nicaragua, Guatemala y El Salvador ya han adoptado el uso del Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), que incorpora tecnologías de manejo de suelo, prácticas agrícolas y forestales con la presencia de árboles y arbustos dispersos en modalidad de regeneración natural. Hasta la fecha, este enfoque ha demostrado resultados positivos (Moreira 2015).

En el Perú se ha puesto en marcha el Plan Nacional de Desarrollo Ganadero desde el año

2017, que busca incrementar la productividad mediante una gestión adecuada de recursos, mejorar las opciones de mercado impulsando la competitividad y brindando valor agregado a los productos del pequeño ganadero, además de fortalecer las asociaciones de productores (MINAGRI 2017). Adicionalmente, el Estado peruano en relación al cumplimiento de las NDC, tiene entre sus objetivos el establecimiento de pasturas mejoradas y la instalación de SSP, con una futura intervención de 119,000 ha en la Amazonía (GTM-NDC 2018). Estas acciones contribuirían a crear sistemas más sostenibles y rentables, evitando la pérdida de bosques causada por la deforestación.

2.7.1 Implementación de sistemas silvopastoriles

La agroforestería se considera parte fundamental de una estrategia integral para atenuar la liberación de GEI, ya que permite secuestrar carbono en los follajes de las plantas y en la tierra del campo. Además, contribuye a disminuir la producción de GEI en tierras agrícolas, especialmente a mediante el aprovechamiento de energía y la reducción en la utilización de combustibles (Schoeneberger *et al.* 2017). Estos sistemas también benefician a los animales al mejorar su salud a través de una oferta más diversa de forrajes, lo que resulta en un aumento del rendimiento lechero y cárnico, a su vez de ayudar a controlar daños al suelo, mejorar la cantidad de nutrientes y promover la diversidad biológica (IICA 2013).

Dentro de la Agroforestería, los sistemas silvopastoriles (SSP) son una modalidad específica, donde árboles, pasturas y animales se combinan de manera armoniosa. Estos tres componentes están en constante interconexión y potente vinculación con el suelo, bajo un sistema integral, cuyo objetivo es diversificar e incrementar la productividad de modo sostenible y afable con el ambiente, así como aportar otros beneficios adicionales (Alegre 2012; Carranza y Ledesma 2009; Fluker *et al.* 2016; Mijail *et al.* 2005; Montagnini *et al.* 2015).

Cuando se incrementa la densidad de especies arbóreas por metro cuadrado se está empleando un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), una técnica de producción agroforestal que utiliza múltiples capas de vegetación. Este enfoque se basa en el cultivo arbustos/árboles forrajeros intensivos (superior a 10,000 árboles/ha) permitiendo que los animales puedan ramonear directamente. Los SSPi combinan pastos tropicales específicos con árboles, lo que optimiza el cultivo de pasturas y mejora su aptitud

nutricional (Murgueitio *et al.* 2015).

Una de las principales funciones atribuidas a la implementación de SSP es actuar como un mecanismo que busca la carbono neutralidad. Esto implica la búsqueda de un balance entre lo que emite y lo que secuestra el sistema mediante el almacenamiento de carbono y la integración forestal en las crianzas ganaderas (Ibrahim *et al.* 2006, Torres *et al.* 2017 y Schettini *et al.* 2021). Igualmente, Ibrahim y Guerra (2006) mencionan que la intensificación de fincas ganaderas con la implementación de SSP contribuye a atenuar la liberación de gases a la atmósfera y a incrementar la asimilación de CO₂, lo que conlleva a una granja carbono neutro. Igualmente, Montagnini *et al.* (2013) señalan que los SSP, y especialmente los SSPi, pueden ayudar a mitigar el cambio climático al tener un balance positivo de GEL.

Los SSP ofrecen una variedad de servicios ambientales que incluyen el fortalecimiento de los efluentes, el secuestro de carbono, reciclaje ecológico, la conservación de la diversidad biológica, la atracción del paisaje, el incremento del rendimiento, así como la calidad de las pasturas (Alegre 2012; Alonso 2011; Fernández 2008; Pizarro *et al.* 2019). Asimismo, proporcionan una mayor estabilidad económica y reducen el riesgo frente al cambio climático creando sistemas más diversificados y con una distribución de ingresos más equitativa a lo largo del tiempo (Gupta, Dagar y Mukesh-Kumar 2016). Desde la perspectiva provechosa, medioambiental, comercial y colectiva son uno de los mecanismos más alentadores de la Agroforestería (Alegre 2012).

Asimismo, la cobertura de los árboles se correlaciona positivamente con el peso vivo y estado corporal del hato ganadero vacuno debido al efecto de la sombra, lo que reduce las lesiones por integumento en ranchos, y podría ayudar a controlar las infestaciones de garrapatas en el ganado (Mancera *et al.*, 2018). Adicionalmente, la repercusión mediadora del área arbórea respecto a la temperatura ambiental previenen la deshidratación de la pastura e impulsan el confort y el rendimiento animal (Montagnini *et al.* 2013). También hay un efecto positivo de la sombra arbórea sobre la obtención láctea y/o cárnica, puesto que a mayor sombra menor estrés por calor, y promueve la regeneración natural de árboles (Souza de Abreu 2002).

Una forma común de implementar SSP es a través de arreglos silvopastoriles. En una

investigación ejecutada por Pezo *et al.* (2019) se establecieron nueve opciones de SSP: Árboles/arbustos dispersos en el campo de pastoreo, pastoreo bajo bosques nativos o secundarios, pastoreo bajo plantaciones de árboles, cercas vivas, cultivos forrajeros, árboles en callejones con pasturas, barreras rompevientos, setos, y bosques ribereños.

En Costa Rica, se ha extendido especialmente el uso de cercas vivas y árboles en potreros, los cuales cumplen funciones de delimitación de propiedades y división de potreros (Villanueva *et al.* 2018). Las "cercas vivas" pueden ser comunes o multi-estratos. Las cercas "simples" están compuestas por uno o dos tipos de árboles dominantes y se podan una vez al año para mantener una altura uniforme. Mientras tanto, las cercas "multiestratos" contienen más tipos de árboles con una altitud y propósitos específicos, como maderero, frutal, medicinal, otros (Villanueva *et al.* 2018).

Por otro lado, los "árboles en callejones con pasturas" consisten en la adaptación silvopastoril de cultivos en hileras, en los cuales se establecen pasturas debajo de hileras de árboles o arbustos (Pezo e Ibrahim 1996). En estos esquemas de manejo, básicamente durante el pastoreo, la parte arbolada, esencialmente leguminosas, cumple varias funciones en el sistema: a) provee un alimento de excelencia nutricional para el ganado; b) la mejora de la fertilidad del suelo se logra mediante la fijación y transferencia de nitrógeno, la disminución de las hojas y material senescente, la pérdida de las raíces y productos de podas esporádicas. y c) disminuye la pérdida de nutrientes debido a la lixiviación y la erosión. (Ibrahim y Botero 1997).

En las zonas de Amazonas y San Martín (Perú), se conocen tres arreglos SSP predominantes. El primer arreglo silvopastoril sobresaliente es "cercas vivas", en el cual se realiza el sembrado de arboledas y chaparrales en sustitución de postes especialmente para demarcar prados (Llanderal 2005; Galindo y Murgueitio 2004). El segundo arreglo silvopastoril predominante es "árboles dispersos en potreros", que consiste en clases de árboles multiestrato y multipropósito que están al interior de los prados en arreglos y distancia específicos (Beer *et al.* 2003). Finalmente, está el arreglo denominado "árboles en callejones", donde se siembran los pastos nativos y cultivados debajo de arboledas sembrados en líneas (Ibrahim y Camargo 2001).

2.7.2 Uso de bloques multinutricionales

La utilización de bloques multinutricionales (BMN) es una táctica empleada con el objeto de producir piensos resistentes que se utilizan estratégicamente para abastecer a los animales cuando hay pastura insuficiente (MAG-Costa Rica 2011; Araujo-Febres 2005). En cuanto al contenido nutricional de los BMN, este alimento sólido tiene una elevada combinación de nutrientes. Este suplemento nutricional es resistente a las diferentes condiciones del medio ambiente debido a su presentación sólida, y al ser consumido lentamente por los animales, garantiza un consumo controlado de urea, principal ingrediente en su composición (Araujo-Febres 2005). No obstante, es importante tener precaución para evitar efectos de toxicidad, especialmente relacionados con la urea. Se recomienda proporcionar los bloques en una forma bien sólida para que los animales puedan lamerlos lentamente, y, además, se sugiere evitar que los animales los consuma mojados por la lluvia (Gutiérrez y Ayala 2016).

La FAO (2007) destaca el uso del BMN, también conocidos también como bloques urea-melaza, como una tecnología confiable para mejorar la productividad ganadera. El principal objetivo de estos bloques es proporcionar nitrógeno para mejorar la función del rumen, aunque también sirve como suministro de otros nutrientes y minerales para mejorar el rendimiento animal. Los BMN son fuente de minerales, vitaminas, energía, y urea para los animales (García y Restrepo 1995). Algunos de los ingredientes comúnmente utilizados en su elaboración incluyen melaza, urea, sal, cemento, y alguna fuente de fibra y proteína (Xuan *et al.* 1991; García y Restrepo 1995).

El empleo de BMN ofrece múltiples beneficios. Entre ellos se destaca su alto contenido proteico, que puede alcanzar hasta un 30%, y un valor energético superior a 3.0 Mcal de EM/kg. Además, estos bloques son fáciles de transportar, poseen un elevado contenido de urea (entre el 6% y el 8%), proporcionan concentraciones constantes de nitrógeno en el rumen, son económicos y se pueden utilizar como medio para administrar antiparasitarios y estimulantes del crecimiento, incluyendo algunos antibióticos y productos vitamínicos (Livias 2019). Asimismo, este suplemento nutricional es adaptable para diversos tipos de rumiantes, incluyendo bovinos destinados a la explotación cárnica o lechera, además de ovinos. Otra ventaja notable de este suplemento es que no hay restricciones en cuanto a la naturaleza del sistema de explotación ganadero o categoría animal, convirtiéndolo en una opción versátil y adaptable (Jiménez-Trujillo y Sepúlveda

2012).

Más de 60 naciones en todo el mundo han adoptado el empleo de BMN en la alimentación de diversas especies animales incluyendo bovinos, búfalos, cabras, ovejas y yaks. Esta tecnología ha sido ampliamente replicada en países en desarrollo debido a la baja calidad de las pasturas, las cuales crecen deficientes en nitrógeno, minerales y vitaminas, constituyendo el principal alimento de la ganadería en estas regiones, además, el elevado precio de los suplementos proteicos también ha motivado la adopción de esta práctica (IAEA 2006; FAO 2007). Entre los países que han implementado esta tecnología se encuentran India, Bangladesh, China, Tailandia, Sri Lanka, Vietnam, Venezuela, Pakistán, Sudan y Malasia (FAO 2007).

2.8. INICIATIVAS REGIONALES PARA LA PROMOCIÓN DE GANADERÍA SOSTENIBLE EN EL TRÓPICO

América Central, específicamente México está aplicando Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs) para promover una ganadería sustentable y de bajas emisiones. Su objetivo es abordar los desafíos del sector agropecuario y fomentar una producción sostenible. Para lograr esto, México está desarrollando políticas públicas acordes a las necesidades actuales y estableciendo alianzas con naciones que han intervenido en iniciativas de Reducción de Emisiones por Degradación y Deforestación (IICA 2024). Por otro lado, Costa Rica también ha implementado NAMAs Ganaderas, enfocándose en tecnologías que buscan no solo disminuir sus GEI, sino que también intensifiquen el rendimiento de la actividad ganadera (CCAFS e Info Notes 2015).

En Sudamérica, países como Brasil, Venezuela, Uruguay, Chile y Argentina están adoptando sistemas silvopastoriles como enfoque de desarrollo sustentable y de resiliencia respecto a los cambios ambientales globales. Colombia es un caso representativo, donde en especial la propuesta Ganadería Colombiana Sostenible ha difundido tipos de silvopastoralismo, tales como árboles dispersos en potreros, cercas vivas, sistemas silvopastoriles intensivos, setos forrajeros y bancos mixtos de forraje, en cinco regiones del país (Rivera *et al.* 2019). Asimismo, en Colombia se está implementando el Programa de Transformación Productiva (PTP), el cual está dirigido a la transformación de sectores productivos en el país, incluyendo el sector ganadero. El PTP ha identificado la necesidad de disminuir la contaminación por parte de los GEI en

la industria ganadera, y ha desarrollado una estrategia para lograrlo. La estrategia incluye la elaboración de proyectos piloto para producir carne y leche de forma saludable y que no dañe al medio ambiente, la promoción del pastoreo silvopastoril y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, entre otras medidas (PTP 2018).

Ecuador está aplicando estrategias similares con el proyecto Ganadería Climáticamente Inteligente, para mejorar de modo sostenible el desempeño y los beneficios económicos brindados por el ganado vacuno, fortalecer la capacidad de adaptación de la agricultura y ganadería al calentamiento global y combatir el exceso de GEI. Entre sus avances están el incremento del ingreso familiar en 10,7%, y la intensificación del desempeño del sector pecuario en 17,7% (FAO 2020). Además, se han establecido Escuelas de Campo que han capacitado a cientos de productores y se ha lanzado una línea de Crédito Verde que ha ayudado a incrementar las ganancias de los productores (IICA 2016a; PRIMICIAS 2023).

En Brasil, se ha implementado el Plan Sectorial de Adaptación y Baja Emisión de Carbono en la Agricultura y la Ganadería, el cual busca fomentar prácticas sostenibles en la producción mediante la introducción de tecnologías adecuadas. Estas tecnologías incluyen el tratamiento de residuos animales, la intensificación del engorde del ganado en pastoreo, la mejora de la fertilización de pastos y la preservación del agua, salud del pasto y la variabilidad biológica de los ecosistemas. Los objetivos de estas acciones son atenuar las emisiones que ocasiona la demasía de GEI en el campo de la ganadería y promover una producción más sostenible (Agencia Brasil 2021).

En Argentina, se ha emprendido el Programa Nacional de Agricultura Periurbana para mejorar la producción sostenible en las zonas periurbanas del país. El programa busca hacer un empleo inteligente de las riquezas naturales y fomentar la producción agroecológica, así como sistemas de producción sostenibles en la ganadería, entre otras medidas (Surraco 2021). Actualmente, se está ejecutando el proyecto "Caracterización socio-productiva de la Agricultura Familiar Campesina e Indígena" para fortalecer y desarrollar los territorios productivos del periurbano a través del programa ImpaCT.AR. Este programa tiene como objetivo impulsar proyectos de investigación y desarrollo para el avance a nivel local, regional y nacional (Argentina.gob.ar 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y SELECCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

Se realizaron tres visitas de campo a la provincia de San Martín. Durante la primera visita (enero de 2019) se realizó la identificación, caracterización y selección de la zona de estudio. En la segunda visita (junio de 2020) se efectuó la encuesta para estimar la huella de carbono. En la tercera visita (julio-agosto de 2020) se llevó a cabo otra encuesta para el análisis económico y ambiental.

En este segmento se detallará la primera visita y las actividades que corresponden a esta etapa inicial del estudio. En primer lugar, se realizaron reuniones con profesionales, investigadores y expertos de la zona, pertenecientes al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), sede El Porvenir y la Universidad Nacional de San Martín (UNSM). Estos profesionales poseen un conocimiento más profundo de la zona lo que permitió realizar una evaluación a nivel provincial (macro-localización). A partir de estas reuniones se seleccionaron 5 provincias de la región, las cuales fueron Lamas, San Martín, Picota, El Dorado y Mariscal Cáceres (Tabla 1). Estas provincias fueron elegidas por ser las más representativas en cuanto a cabezas de ganado lechero, producción de leche y unidades agropecuarias con sistemas silvopastoriles (INIA 2012).

Para llevar a cabo esta primera fase de la investigación, se empleó el Método de Análisis de Factores Cualitativos Ponderados. El propósito del método utilizado fue seleccionar las tres provincias más representativas (con el puntaje más alto) y luego elegir dentro de ellas los distritos más representativos (micro-localización) y así reducir las posibilidades de selección (Tabla 2). Esta metodología implica asignar valores a factores según su importancia (en una escala de 0 a 1), que luego se multiplican por un puntaje para obtener un puntaje ponderado para cada factor. Finalmente, se suman estos puntajes ponderados para cada provincia y distrito.

Tabla 1: Análisis de Factores Cualitativos Ponderados para la selección de la provincia, región San Martín

Factores	Valor	LAMAS		SAN MARTÍN		PICOTA		EL DORADO		MARISCAL CACERES	
		Puntaje	Puntaje ponderado	Puntaje	Puntaje ponderado	Puntaje	Puntaje ponderado	Puntaje	Puntaje ponderado	Puntaje	Puntaje ponderado
Ganaderías con SSP y ganaderías con pastos con escasa cobertura arbórea	0.3	4	1.2	5	1.5	2	0.6	1	0.3	2	0.6
Producción de leche	0.2	5	1	3	0.6	2	0.4	1	0.2	1	0.2
Accesibilidad	0.25	3	0.75	5	1.25	4	1	2	0.5	2	0.5
Cercanía a Instituciones de apoyo en la investigación	0.25	3	0.75	5	1.25	3	0.75	1	0.25	1	0.25
TOTAL	1.00		3.70		4.60		2.75		1.25		1.55

SSP: Sistemas silvopastoriles.

En cuanto a la macro-localización, se evaluaron 4 aspectos, incluyendo la presencia tanto de ganaderías con sistemas silvopastoriles (SSP) como de ganaderías con pastos de escasa cobertura arbórea (0.30), lo que implicaba encontrar ambos tipos de fincas en la misma área geográfica; el segundo criterio se centró en la producción lechera, abarcando tanto el rendimiento diario promedio por vaca, como la contribución lechera a nivel provincial, medido por la cantidad vacunos en la provincia (0.20). El tercer aspecto evaluado fue la accesibilidad (0.25), destinada a facilitar el acceso al lugar durante la recolección de muestras. Finalmente, el cuarto criterio considerado fue la proximidad a instituciones de investigación (0.25), como La Estación Experimental Agraria El Porvenir, para facilitar el trabajo de los investigadores mediante el uso de instalaciones como de estufas para el secado de pastos y forrajes de corte (Tabla 1).

Después, se otorgó un puntaje a cada provincia dentro de un rango de valores enteros (1-5), donde 1 representaba el cumplimiento mínimo de los factores descritos en la Tabla 1. Estos puntajes se asignaron tras comunicarse con investigadores y expertos del campo, además, de consultar fuentes secundarias como información brindada por la Dirección de Productividad Agraria y la Dirección Regional de Agricultura de San Martín. Luego, cada puntaje se multiplicó por el valor asignado a cada factor, obteniendo así el puntaje ponderado para cada factor en cada provincia. La suma de estos puntajes ponderados proporcionó el puntaje total ponderado para cada provincia (Tabla 1).

En cuanto a la micro-localización, tanto para la selección de las cinco provincias como para la selección de los 5 distritos se llevaron a cabo reuniones con investigadores, profesionales y expertos del INIA y de la UNSM. Basándose en estas reuniones, se decidió visitar dos distritos de la provincia de San Martín (El Porvenir y Juan Guerra), dos distritos de la provincia de Lamas (Cuñumbuque y Zapatero) y un distrito de la provincia de Picota (Tingo de Ponaza) (Tabla 2). Es crucial destacar que, de las cinco provincias evaluadas, tres obtuvieron el puntaje ponderado más alto (Tabla 1), y este puntaje fue considerado para la selección de los distritos más representativos mencionados anteriormente.

Luego de seleccionar los 5 distritos, se llevó a cabo la micro-localización con el fin de elegir el distrito con el cual se trabajaría. En este proceso se consideraron seis factores, a los cuales se les asignó un valor en un rango de 0 a 1, siendo 1 el máximo valor asignado, según la importancia del factor.

Tabla 2: Análisis de Factores Cualitativos Ponderados para la selección del distrito, región San Martín

Factores	Cuñumbuque		El Porvenir		Juan Guerra		Zapatero		Tingo de Ponaza		
	Valor	Puntaje ponderado									
Ganaderías con SSP (20% arboles dentro del área de pastoreo)	0.2	4	0.8	3	0.6	4	0.8	3	0.6	3	0.6
Principal actividad la producción de leche (60% vacas en ordeño)	0.2	4	0.8	4	0.8	4	0.8	3	0.6	3	0.6
Accesibilidad	0.1	4	0.4	4	0.4	4	0.4	3	0.3	3	0.3
Disposición de trabajo de los ganaderos con los investigadores	0.2	3	0.6	3	0.6	4	0.8	2	0.4	2	0.4
Características edáficas y ambientales similares	0.15	3	0.45	3	0.45	3	0.45	3	0.45	3	0.45
Fincas con SSP y fincas con pasto con escasa cobertura arbórea en un mismo lugar	0.15	2	0.3	2	0.3	4	0.6	2	0.3	1	0.15
TOTAL	1.00	3.35	3.15	3.85	2.65	2.50					

SSP: Sistemas silvopastoriles.

El primer factor consistió en encontrar fincas con al menos 20% de árboles en el área destinada para pastoreo, con un valor asignado de 0.20. El segundo factor fue que la actividad más importante para los ganaderos era la producción lechera, con al menos 60%

de vacas en producción (0.20). El tercer factor fue la accesibilidad (0.10), es decir, tener la facilidad de acceso a las fincas, así como para la toma de muestras. El cuarto factor fue la disposición de trabajo de los ganaderos con los investigadores (0.20). El quinto factor fue tener características edáficas y ambientales similares (0.20). Y el sexto factor fue encontrar ambos tipos de fincas en un mismo lugar (0.15); es decir, fincas con al menos un 20% árboles en el área de pastoreo, y fincas con escasa cobertura arbórea (menos del 20% de árboles) (0.15) (Tabla 2).

Después, se adjudicó un puntaje a cada distrito dentro de un rango de valores enteros (1-5), donde 1 representaba el cumplimiento mínimo de los factores descritos en la Tabla 2. Al igual que en la macro-localización, estos puntajes se asignaron en función de la comunicación con investigadores y expertos del área. Luego, cada puntaje se multiplicó por el valor asignado a cada factor, obteniendo así el puntaje ponderado para cada factor en cada distrito. Posteriormente, se sumaron los puntajes ponderados para cada distrito (Tabla 2).

Finalmente, después de la evaluación utilizando el Análisis de Factores Cualitativos Ponderados, se determinó que el distrito de Juan Guerra obtuvo el puntaje más alto con un total de 3.85, seguido del distrito de Cuñumbuque con 3.35 y del distrito de El Porvenir con 3.15 (Tabla 2). En el distrito de Juan Guerra se encontraron ambos tipos de fincas, fincas lecheras, accesibilidad fácil, características edáficas y ambientales similares, y especialmente, una disposición de los ganaderos para trabajar con los investigadores. Por lo tanto, Juan Guerra fue identificado como el distrito con el puntaje más alto en relación a los factores evaluados (Tabla 2).

Por consiguiente, la presente investigación se desarrolló en Juan Guerra, un distrito ubicado en la provincia de San Martín, en el departamento de San Martín (Figura 1). Esta área se sitúa a 230 metros sobre el nivel del mar, con una latitud de 6° 36' 15" Oeste y una longitud de 76° 21' 15" Sur (INEI 2010). El distrito se caracteriza por albergar fincas dedicadas a la producción láctea (32,697 t/ año) y de carne vacuna (5,443 toneladas por año) (MIDAGRI 2021). Posee un clima cálido y semiseco, con un ecosistema de selva seca tropófila, una temperatura promedio de 26.2 °C y una pluviosidad anual de 1,213 mm (IDERSAM 2016).

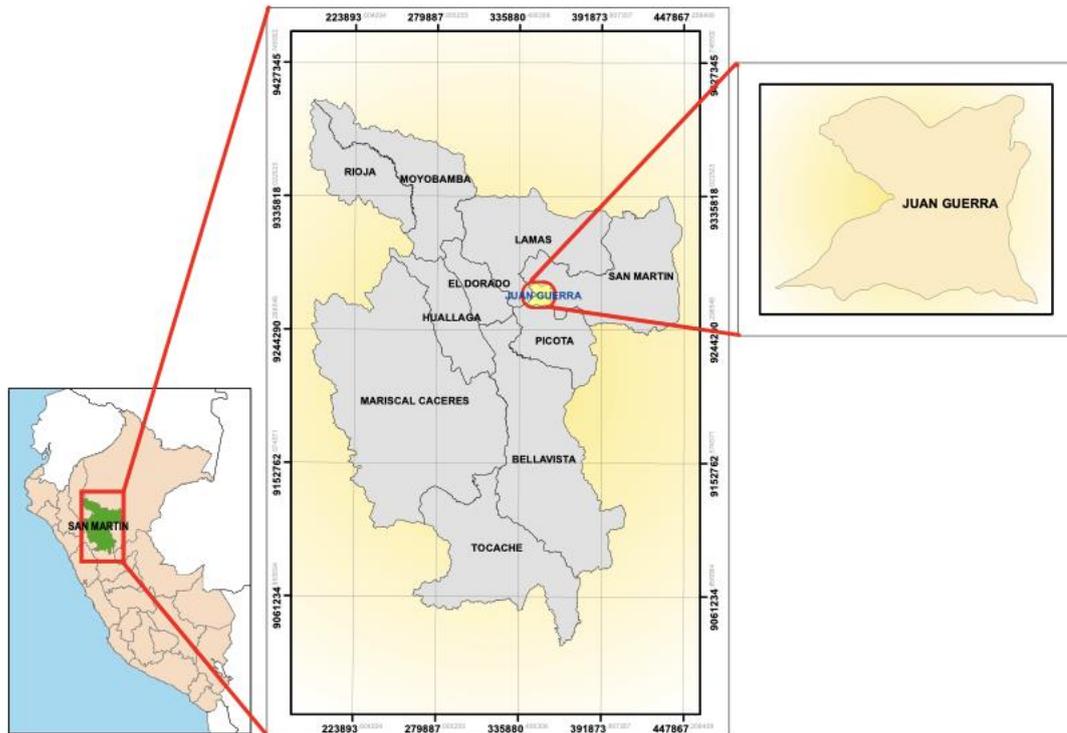


Figura 1: Localización del distrito de Juan Guerra en la provincia de San Martín, región de San Martín

3.2 DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LAS FINCAS GANADERAS

En esta sección, se describirá la segunda visita, la cual implicó la toma de muestras de alimento y de leche, así como la aplicación de una encuesta (Anexo 1) para determinar el primer componente de este trabajo de investigación: la estimación de la huella carbono.

Para medir la huella de carbono de las fincas ganaderas evaluadas en este estudio, se adoptó un enfoque de Análisis de Ciclo de Vida, siguiendo la norma ISO (2006).

3.2.1 Definición del objetivo y alcance

El objetivo de esta sección fue determinar la huella de carbono de la producción de leche en ocho fincas ganaderas del distrito de Juan Guerra, provincia de San Martín, región de San Martín.

Para medir el rendimiento y las emisiones, este estudio utilizó una unidad funcional (UF)

específica detallada a continuación:

- kg LCGP (kilogramos de leche corregida a 4% de grasa y 3.5% de proteína).

La UF se calculó utilizando una ecuación brindada por la Federación Internacional de Lácteos (IDF 2015), que se describe a continuación:

$$\text{LCGP (kg)} = \text{PL (kg)} * ((0.1226 * G) + (0.0776 * P) + 0.2534)$$

Donde:

LCGP (kg): Leche corregida a 4% de grasa y 3.5% de proteína; PL: Producción total de leche; G: Porcentaje de grasa (4); P: Porcentaje de proteína (3.5)

La selección de esta unidad funcional (UF) se basó en su uso común en la mayoría de los estudios relacionados a huella de carbono (HC) de la producción láctea realizados en Latinoamérica, el Caribe y diversos países europeos. Esta decisión facilita el contraste de los hallazgos de la HC con más investigaciones, lo que permite una evaluación más coherente y comprensible.

Cada una de las fincas evaluadas se trató como un sistema individual. Los límites del sistema se establecieron desde la cuna hasta la puerta de la finca; lo que significa que abarcaban desde el inicio hasta el término del ciclo productivo de leche en la finca. Se tuvieron en cuenta únicamente las emisiones generadas dentro de la finca, excluyendo emisiones derivadas de actividades posteriores a este punto en la investigación.

Como ingresos al sistema se consideraron el alimento, los fertilizantes, el combustible y la electricidad, mientras que como salidas del sistema se tuvieron en cuenta la venta de leche fresca y la ganadería excedente. Las emisiones resultantes de los procesos dentro del sistema fueron dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄) (Figura 2). Las seis fuentes de emisiones de GEI evaluadas en cada sistema fueron: metano derivado de la fermentación entérica, metano del estiércol, óxido nitroso proveniente del manejo de estiércol, óxido nitroso por manejo de suelos, dióxido de carbono por combustible (transporte) y dióxido de carbono por energía.

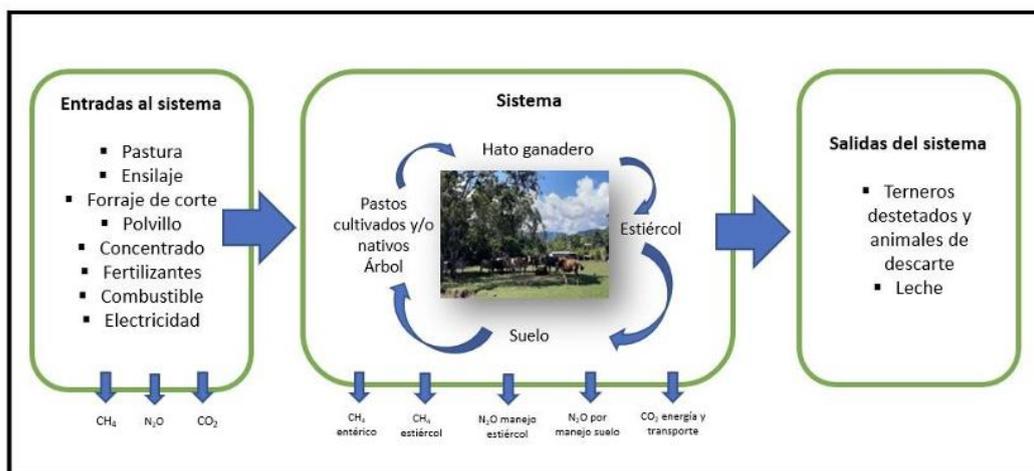


Figura 2: Delimitación del sistema de la producción de leche en cada una de las fincas evaluadas, región San Martín

Asignación de la carga ambiental

Para evaluar la intensidad de emisión de carbono de la producción lechera, es crucial asignar un peso ambiental. Durante el proceso las emanaciones totales de GEI se multiplican por el factor de asignación (económico o de masas) para la leche. El valor resultante se divide entre la producción láctea total anual (kg LCGP) para cada finca evaluada, lo que proporciona la magnitud de la emisión por kilogramo de producto, en este caso de la leche.

Se optó por la asignación de masas debido a que los productos principales de la finca son, en primer lugar, la leche, seguida de la carne (proveniente de animales destetados y de descarte). Esta elección se justifica en la necesidad del consumidor de conocer el impacto ambiental del producto que adquiere en el mercado, permitiéndole realizar comparaciones adecuadas con otros productos. Además, esta metodología facilita el diseño de políticas ganaderas sostenibles al proporcionar información sobre el volumen de emanaciones de GEI por cada litro de leche producido, permitiendo la selección de alternativas más amigables con el medio ambiente.

Respecto a la asignación económica, se asigna el efecto ambiental de un sistema o proceso de manufacturación a sus diversos productos según su valor económico relativo (De Vries y Boer 2010). Esta elección se sustenta en que las propiedades en el área de investigación tienen como actividad económica principal la producción lechera. Esto debido a que esta actividad constituye una fuente significativa de sus

ingresos. Así las fincas seleccionadas son identificadas como fincas lecheras, no solo por la predominancia de la producción láctea, sino también porque sus ingresos principales provienen de la venta de este producto, siendo la carne la segunda fuente de sus ingresos. Además, la comparación directa de los hallazgos de diversas investigaciones basadas en ACV que utilizan diferentes métodos de asignación requiere que se realice en la misma unidad (Thomassen *et al.* 2008).

Adicionalmente, dado que la segunda parte de este trabajo se centra en el aspecto económico de cada una de las fincas ganaderas, se consideró apropiado emplear esta asignación, a pesar de la escasez de estudios con este enfoque en zonas tropicales de Latinoamérica. Esto permitirá una comparación más relevante con entornos europeos. Por ello, la asignación de la carga ambiental se hizo por medio de dos métodos de asignación: asignación de masas y asignación económica (IDF 2015). A continuación, se detallan las fórmulas utilizadas:

Asignación por masa (AM):

Esto significa que tanto la leche producida como la carne (kg proveniente de los animales en pie y animales de descarte) asumen la carga ambiental del sistema de producción.

$$\text{Factor de asignación de masa (FA}_m\text{)} = \text{PL} / (\text{PL} + \text{PC})$$

Donde: PL = Producción de leche (kg LCGP); y PC = Producción de carne (kg).

Posteriormente este FAM se multiplicó por cada fuente de emisión total y se dividió por la producción de leche como se explica a continuación:

$$\text{HC}_{AM} \text{ (kg CO}_2\text{e/kg LCGP)} = (\text{FA}_m * \text{CO}_2\text{e}_{\text{CH}_4 \text{ entérico}}) / \text{PL} + (\text{FA}_m * \text{CO}_2\text{e}_{\text{CH}_4 \text{ estiércol}}) / \text{PL} + (\text{FA}_m * \text{CO}_2\text{e}_{\text{N}_2\text{O manejo estiércol}}) / \text{PL} + (\text{FA}_m * \text{CO}_2\text{e}_{\text{N}_2\text{O manejo suelo}}) / \text{PL} + (\text{FA}_m * \text{CO}_2\text{e}_{\text{CO}_2 \text{ combustible}}) / \text{PL} + (\text{FA}_m * \text{CO}_2\text{e}_{\text{CO}_2 \text{ energía}}) / \text{PL}$$

Donde: HC_{AM} = Huella de carbono por asignación de masas; FA_m = Factor de asignación de masa; CO₂e_{CH₄ entérico} = Intensidad de emisión de metano entérico; CO₂e_{CH₄ estiércol} = Intensidad de emisión de metano del estiércol; CO₂e_{N₂O manejo estiércol} = Intensidad de emisión de óxido nitroso por manejo del estiércol; CO₂e_{N₂O manejo suelo} = Intensidad de emisión de

óxido nitroso por manejo del suelo; $\text{CO}_2\text{eCO}_2 \text{ combustible} = \text{Intensidad de emisión de combustible}$; $\text{CO}_2\text{eCO}_2 \text{ energía} = \text{Intensidad de emisión de energía}$; PL = Producción de leche (kg LCGP).|

Asignación económica (AE):

Es el valor de la producción de leche, el cual es multiplicado por su precio y dividido entre la producción combinada; es decir, la suma del valor de la producción lechera y el valor de producción cárnica, la cual también ha sido multiplicada por su precio.

El factor de asignación (FA) económica para leche se calculó siguiendo la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de asignación económica (FA}_e\text{)} = (\text{PL} * \text{PrL}) / (\text{PL} * \text{PrL}) + (\text{PC} * \text{PrC})$$

Donde: PL = Producción de leche (kg LCGP); PrL = Precio de la leche (S/.); y PC = Producción de carne (kg); PrC = Precio de la carne (S/.).

Posteriormente este FAe se multiplicó por cada fuente de emisión total y se dividió por la producción de leche como se explica a continuación:

$$\text{HC}_{\text{AE}} (\text{kg CO}_2\text{e/kg LCGP}) = (\text{FA}_e * \text{CO}_2\text{eCH}_4 \text{ entérico}) / \text{PL} + (\text{FA}_e * \text{CO}_2\text{eCH}_4 \text{ estiércol}) / \text{PL} + (\text{FA}_e * \text{CO}_2\text{eN}_2\text{O manejo estiércol}) / \text{PL} + (\text{FA}_e * \text{CO}_2\text{eN}_2\text{O manejo suelo}) / \text{PL} + (\text{FA}_e * \text{CO}_2\text{eCO}_2 \text{ combustible}) / \text{PL} + (\text{FA}_e * \text{CO}_2\text{eCO}_2 \text{ energía}) / \text{PL}$$

Donde: HC_{AE} = Huella de carbono por asignación económica; FA_e = Factor de asignación económica; $\text{CO}_2\text{eCH}_4 \text{ entérico}$ = Intensidad de emisión de metano entérico; $\text{CO}_2\text{eCH}_4 \text{ estiércol}$ = Intensidad de emisión de metano del estiércol; $\text{CO}_2\text{eN}_2\text{O manejo estiércol}$ = Intensidad de emisión de óxido nitroso por manejo del estiércol; $\text{CO}_2\text{eN}_2\text{O manejo suelo}$ = Intensidad de emisión de óxido nitroso por manejo del suelo; $\text{CO}_2\text{eCO}_2 \text{ combustible}$ = Intensidad de emisión de combustible; $\text{CO}_2\text{eCO}_2 \text{ energía}$ = Intensidad de emisión de energía; PL = Producción de leche (kg LCGP).

Los datos de precios se basaron específicamente en los precios de mercado del kg de carne de ganado vacuno y el precio del kg de leche en la zona. Productos secundarios como el

precio del estiércol como contribuyente para el cultivo de pasturas no se consideraron como insumos para la asignación económica.

3.2.2 Análisis de inventario

a) Fase de campo

En este punto se puso en práctica la recolección de datos para determinar la huella de carbono de la producción de leche. En primer lugar, se realizó una encuesta (Ver anexo 1) a cada uno de los 8 ganaderos seleccionados del distrito de Juan Guerra. La selección de estos ganaderos fue a través de un muestreo no probabilístico, utilizando el tipo de muestreo intencional a través del cual “la selección de los participantes se lleva a cabo mediante expertos que establecen criterios a seguir” (Hernández-González 2021). Estos criterios fueron definidos como cuatro fincas con escasa cobertura arbórea (menor de 150 árboles por hectárea) y cuatro fincas con SSP con mayor cobertura arbórea, superior a 150 árboles por hectárea (Pintos 2021). Estos criterios se definieron considerando que los sistemas silvopastoriles intensivos (100-600 árboles por hectárea) presentan un porcentaje de cobertura arbórea que depende de la especie arbórea (Chará *et al.* 2019).

Durante el estudio, se identificó la prevalencia de *Guazuma ulmifolia* en las fincas ganaderas, con una densidad de siembra 3 x 3 m (IICA 2016b), lo que equivale a aproximadamente 222 árboles por hectárea (considerando un área de 2000 m²). Esto representa el 20% de la superficie de pastoreo en cada hectárea. Este 20% se estableció como el umbral de referencia, con densidad 220 árboles por hectárea. Se ejecutaron medidas y cálculos en la sección de pastoreo de las diferentes fincas para determinar, mediante pequeñas parcelas de 100m², el número de árboles por hectárea. Esto permitió calcular el porcentaje de cobertura arbórea en cada finca ganadera. Aquellas fincas con menos de 2000m² de cobertura arbórea por hectárea se clasificaron como fincas con escasa cobertura arbórea. Por otro lado, aquellas con más de 2000m² cubiertos por hectárea fueron designadas como fincas silvopastoriles.

- Fincas con escasa cobertura arbórea: Tener menos del 20% de árboles en la zona pastoril y tipo de ganado lechero (principalmente cruces con Gyr).
- Fincas silvopastoriles: Tener más de 20% de árboles en el campo de pastoreo y tipo de ganado lechero (principalmente cruces con Gyr).

La encuesta incluyó información a nivel de finca, como nombre del ganadero y de la finca, el área de cultivos agrícolas, pasturas, banco forrajero, bosques primarios y secundarios, infraestructura, arreglos silvopastoriles predominantes, especies arbóreas predominantes, uso de fertilizantes, maquinaria y consumo de energía eléctrica. También se recopiló información a nivel de hato ganadero, como la amplitud del rebaño, genotipos predominantes, la producción láctea, el tipo de alimento, el manejo del estiércol y las horas de pastoreo.

En segundo lugar, se procedió al muestreo de alimento (pastura nativa y/o cultivada, forraje de corte, concentrado, polvillo y ensilaje) y muestras de leche, así como el pesaje de animales. Las muestras del alimento se realizaron con el propósito de determinar el porcentaje de la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS), humedad, proteína cruda y cenizas. El informe de estas pruebas de laboratorio que posteriormente se describen, se utilizaron para realizar cálculos de la huella de carbono. Las muestras de leche se tomaron para analizar los porcentajes de grasa, proteína y sólidos totales, cuyos valores se utilizaron en las ecuaciones para determinar la huella de carbono. Así también, el peso vivo promedio de los animales en las diferentes categorías fue tomado en cuenta para identificar la ingesta de materia seca.

A continuación, se detalla la toma de muestras de los diferentes tipos de alimentos brindados a los animales en las fincas evaluadas:

Pastura nativa y/o cultivada: En este estudio, se recolectaron muestras aleatorias de la dieta de pasto nativo y/o cultivado de un 20% de vacas en ordeño en cada finca. Se utilizó la metodología de simulación manual descrito por Austin *et al.* (1983) durante la mañana, momento en el que las vacas estaban activamente pastando. El procedimiento incluyó observar la ingesta de cada individuo durante 2 a 3 horas al lado del campo pastoril y acto seguido recoger muestras con la mano que fueran similares al bocado ingerido por el ganado. El muestreo se realizó en 25 sitios, los cuales se definen como el semicírculo que está ante la vaca, donde ésta recolecta el pasto continuamente (Flores 1993).

Se recolectaron muestras de pasto en dos momentos del año, en condiciones de lluvia y sequía, se tomó una muestra de cada estación por finca, un total de 16 muestras de pasto compuesto.

Forraje de corte: Sólo dos fincas presentaron pasto elefante verde y pasto elefante

morado (*Pennisetum purpureun x Pennisetum. Typhoides*) como fuente de sustento en la ración del ganado. Se recolectó una muestra compuesta de cada una de estas fincas en cada estación, totalizando cuatro muestras compuestas.

Concentrado: Sólo una de las fincas suministraba alimento concentrado a las vacas en ordeño. Se recolectó una muestra del alimento concentrado en cada estación del año, un total de dos muestras.

Polvillo: En cinco fincas los animales recibían polvillo de arroz como alimento. Se tomaron muestras de cada una de estas fincas en dos estaciones del año, sumando un total de diez muestras.

Forraje conservado (ensilaje): Sólo una finca proporcionaba ensilaje a las vacas en ordeño. Se tomó una muestra del ensilaje en dos estaciones del año, sumando un total de dos muestras.

Muestras de leche: Las muestras de leche fueron recolectadas después del ordeño en recipientes de 100 ml cada uno y luego se colocaron en refrigeración a 4°C. Se obtuvieron dos muestras por finca en cada estación evaluada (seca y lluviosa), haciendo un total de treinta y dos muestras.

Pesaje de los animales: La estimación del peso se realizó haciendo uso de una cinta bovinométrica. Se realizaron medidas a tres animales por categoría de bovinos dentro de cada finca. La ganancia de peso promedio por día se estimó según NRC (2001).

Posteriormente se realizaron los análisis de laboratorio de las muestras de alimento y de leche.

Análisis de alimentos: Luego de recolectar las muestras de pastos compuestas en campo, estas fueron cortadas y secadas a estufa a 60°C durante 48 horas en el Laboratorio de Suelos de la Estación Experimental Agraria El Porvenir, San Martín. Luego, cada muestra fue pesada, rotulada y almacenada en bolsas de papel para su posterior envío al Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, para sus respectivas evaluaciones de digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS), proteína, cenizas y humedad.

El número total de muestras fue, diez muestras de polvillo, dos muestras de concentrado,

dos muestras de ensilaje, cuatro muestras de forraje de corte y dieciséis muestras de mezcla compuesta de pastos nativos y/o cultivados.

Análisis de leche: Posteriormente, las muestras de leche se acondicionaron en cajas de Tecnopor con geles refrigerantes y se enviaron al Laboratorio de Leche y Carnes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en donde se analizaron los niveles de grasa, proteína y sólidos totales.

b) Fase de Gabinete

En primer lugar, se realizaron los cálculos de la ingesta de materia seca (IMS) para cada categoría del hato ganadero, siguiendo las ecuaciones y valores brindados en el informe actualizado del IPCC en el año 2019.

La ingesta de materia seca para las categorías terneros, vacunos en crecimiento (vaquillas, vaquillonas, toretes y toros) y vacas en lactancia se realizó siguiendo las ecuaciones actualizadas 10.17, 10.18a, y 10.18b para cada una de las categorías evaluadas. Sin embargo, para la categoría vacas secas, se consideró el valor 2.2% del peso vivo, considerando que los animales consumían un forraje de calidad media (Tabla 3).

Tabla 3: Ingesta de materia seca requerida para vacas en seca basada en la calidad del forraje

Tipo de forraje	Digestibilidad (%)	Capacidad de IMS del forraje (kg/día), % de PV (kg)
		No lactante
Baja Calidad	<52	1.8
Calidad Media	52-59	2.2
Alta calidad	>59	2.5

IMS: Ingesta de materia seca; PV: Peso vivo.

Fuente: IPCC, 2019.

Ecuación 10.17. Estimación de ingesta de materia seca para terneros.

$$\text{IMS} = \text{PV}^{0.75} \frac{0.0582 * \text{NE}_{\text{mf}} - 0.00266 * \text{NE}_{\text{mf}}^2 - 0.1128}{0.239 * \text{NE}_{\text{mf}}}$$

Donde:

IMS = ingesta de material seca, kg/día.

PV = peso corporal vivo o en pie, kg.

Nemf = concentración de energía neta estimada de la dieta o valores por defecto en la Tabla 10.8a, MJ/kg (IPCC 2019b).

Ecuación 10.18a. Estimación de ingesta de materia seca para ganado vacuno en crecimiento.

$$\text{IMS} = \text{PV}^{0.75} \frac{0.0582 * \text{NE}_{\text{mf}} - 0.00266 * \text{NE}_{\text{mf}}^2 - 0.0869}{0.239 * \text{NE}_{\text{mf}}}$$

Donde:

IMS = ingesta de material seca, kg/día.

PV = peso corporal vivo o en pie, kg.

Nemf = concentración de energía neta estimada de la dieta o valores por defecto en la Tabla 10.8a, MJ/kg (IPCC 2019b).

Ecuación 10.18b. Estimación de ingesta de materia seca para vacas en lactancia.

$$\text{IMS} = 0.0185 * \text{PV} + 0.305 * \text{LCG}$$

Donde:

IMS = ingesta de materia seca, kg/día.

PV = peso corporal vivo o en pie, kg.

LCG = leche corregida a grasa, kg/día, 3.5 por ciento ((0.4324 x kg de leche) + (16.216 x kg de grasa)).

La ingesta de materia seca de terneros en crecimiento y ganado maduro, se hizo sobre la base del peso corporal del animal y la cantidad de energía neta estimada de la dieta (Nemf) haciendo uso de la siguiente ecuación dada por el IPCC (2019b):

$$\text{Nemf} = \text{REM} \times 18.45 \times \text{DE}$$

Donde:

REM = proporción de energía neta disponible en la dieta para el mantenimiento.

DE = Digestibilidad de la dieta, %.

En segundo lugar, se procedió a estimar la Huella de Carbono de la producción de leche, haciendo uso de ecuaciones refinadas dadas por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 2019). Estos cálculos emplearon Microsoft Excel 2019.

La huella de carbono o intensidad de emisión se calculó multiplicando las emisiones totales de GEI (metano, óxido nitroso y dióxido de carbono) con un factor de asignación estimado según el método de asignación correspondiente, y luego se dividió entre la producción total de leche corregida a 4% de grasa y 3.5% de proteína.

Seguidamente, se detallan las estimaciones realizadas para determinar las emisiones de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono:

a) Metano

Los cálculos se dividieron en dos: metano entérico y metano del estiércol. Para los cálculos de metano a partir de la fermentación entérica, se utilizaron variables como el peso vivo promedio de cada una de las categorías para cada una de las fincas, ganancia de peso para las categorías de vaquillonas, vaquillas 1-2 años, terneras (os) destetadas (os), terneras (os) lactantes (2-7 meses), terneras (os) lactantes (<2 meses), además, del porcentaje de digestibilidad del alimento. Luego, para cada categoría, se calcularon las energías netas de mantenimiento, actividad, ganancia de peso, preñez y lactancia. Para el cómputo de la energía neta de lactancia (ENL) se utilizó el porcentaje de grasa y la producción promedio de leche. Posteriormente, se calculó la energía cruda y el factor de emisión (kg de CH₄ entérico/animal/año). El factor de conversión de metano utilizado fue Y_m = 6.5% del valor bruto de la ingesta energética, valor tomado del IPCC (2019b). Las ecuaciones utilizadas fueron 10.3, 10.4, 10.6, 10.8, 10.13, 10.14, 10.15, 10.16 y 10.21 (IPCC 2019b, c).

Con respecto a los cálculos de metano del estiércol, se realizó la estimación de los sólidos volátiles utilizando la energía total (MJ/día), el porcentaje de digestibilidad del alimento, el contenido de cenizas del alimento consumido y la energía urinaria (0.04), éste último valor proporcionado por el IPCC (2019b). Como todas las fincas ganaderas tenían un área destinada para ordeño (corral), se consideró la descomposición anaeróbica (estiércol y orina) no sólo en la pastura sino también en el corral, para ello se estimó el cálculo por separado de sólidos volátiles durante pastoreo y almacenado en el tiempo que los animales permanecían estabulados. El tiempo de pastoreo promedio en las fincas por día fue 15.8 ± 2.2 horas. En seguida, se calculó el factor de emisión (kg CH₄ del estiércol/animal/año). Después, se calcularon las emisiones por cada categoría y luego se convirtieron a CO₂e. Las ecuaciones utilizadas fueron 10.23 y 10.24 (IPCC 2019b, c).

b) Óxido nítrico

Estas emisiones se calcularon en base al manejo del estiércol y del suelo. En cuanto a manejo de estiércol, para estimar las tasas anuales de excreción de N (kg N/animal/año), se estimó el N ingerido y el N retenido en kg de N/animal/día. Asimismo, se realizaron cálculos separados de N excretado (N_{ex}) en pastura y N_{ex} almacenado en corral según las horas de pastoreo y horas que los animales pasaban en el corral. Tanto para las emisiones de N₂O directo como N₂O indirecto, se realizaron las estimaciones de N volatilizado y N lixiviado en pastura y en corral. Finalmente, se calculó el total de las emisiones directas e indirectas para cada categoría y luego a nivel de finca por año. Se utilizaron las siguientes ecuaciones 10.25, 10.28, 10.29, 10.31, 10.32 y 10.33 (IPCC 2019b, c)

Con respecto al manejo de suelos, se consideraron emisiones directas e indirectas. En las emisiones directas sólo se contabilizó N proveniente de los aportes de fertilizantes y N proveniente de la entrada de orina y excremento animal a los suelos con pasturas (kg de N₂O-N/año). En las emisiones indirectas, se calcularon las emisiones de N₂O de la deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados y las emisiones de N₂O obtenido por lixiviación y escorrentías. Finalmente, se contabilizó el total de emisiones directas e indirectas en todas las categorías y luego a nivel de finca por año. Las ecuaciones utilizadas fueron 11.1, 11.9 y 11.10 (IPCC 2019b, c).

c) Dióxido de carbono

El volumen producido fue calculado mediante las emisiones originadas por el empleo de combustibles fósiles en el transporte de insumos a la granja, así como en el uso de maquinaria (ordeñadora mecánica) y energía eléctrica (kWh/año).

Para calcular la cantidad de combustible (gasolina y diésel) consumido en el transporte de insumos y operación de maquinaria utilizada en el proceso, se utilizaron ecuaciones específicas:

$$\text{Gasolina total (GT)} = (\text{Gt} \cdot \text{Dg} / 1000) / 1000000 \cdot \text{CVg}$$

Donde:

Gt = consumo total de gasolina (2,354 L/año); Dg = densidad de la gasolina (719.7 kg/m³) (Noor *et al.* 2013); y CVg es el valor calórico de la gasolina (47.3 MJ/kg) (Noor *et al.* 2013).

$$\text{Diesel total (DT)} = \text{Dt} \cdot \text{CFd} / 1000 \cdot \text{CVd} / 1000000$$

Donde:

Dt = consumo total de diésel (3,012 L/año); CFd = densidad de diésel (832 kg/m³) (Noor *et al.* 2013); y CVd es el valor calórico del diésel (44.4 MJ/kg) (Noor *et al.* 2013).

Para el cálculo de la energía eléctrica usada se usó la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones de energía eléctrica} = \text{kWh/año} \times \text{FE electricidad}$$

Donde:

FE electricidad = 0.547 (FONAM 2009).

Además de estas fórmulas se utilizó la ecuación 3.2.1 (IPCC 2006) y se utilizaron datos de Ecoinvent (2010).

3.2.3 Evaluación del impacto

Este estudio llevó a cabo el análisis del impacto ambiental “Cambio Climático”, que involucra examinar las emisiones de GEI, las cuales incluyen metano, óxido nitroso y dióxido de carbono, con el objetivo de determinar la huella de carbono del rendimiento lechero. Posteriormente, estas emisiones de GEI fueron convertidas a dióxido de carbono equivalente (CO₂e), para ello, se multiplicaron por diferentes potenciales de

calentamiento global (PCG) según la fuente de emisión. Los PCG utilizados fueron: 28 para metano, 265 para óxido nitroso y 1 para dióxido de carbono para un plazo de 100 años (IPCC 2014). En la Tabla 4 se describen los PCG empleados de acuerdo a la fuente de emisión.

3.2.4 Interpretación

Los hallazgos de la evaluación del inventario, así como la estimación de la repercusión de las emisiones de GEI analizadas en esta investigación constituyen la base de las conclusiones y recomendaciones de esta sección del estudio. Éstas tienen el potencial de ser utilizadas tanto por instituciones nacionales como privadas, para la elección y creación de programas y estrategias que contribuyan a la reducción de la emanación de estos gases en el sector ganadero de esta zona.

Tabla 4: Potenciales de calentamiento global (PCG) usados para la estimación de gases de efecto invernadero

Fuente	PCG
Metano	28 (IPCC, 2014)
Óxido nitroso	265 (IPCC, 2014)
Dióxido de carbono	1 (IPCC, 2014)

IPCC: Panel Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.

3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA SIMULACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SILVOPASTORILES Y USO DE BLOQUES

MULTINUTRICIONALES EN FINCAS LECHERAS DE LA REGIÓN SAN MARTÍN

Esta sección describirá la tercera visita, que implicó la ejecución de una encuesta centrada en la parte económica (Anexo 1) para abordar el segundo componente de este trabajo, que se enfoca en el análisis económico y ambiental.

Para desempeñar estos tipos de análisis en los sistemas silvopastoriles y el uso de bloques multinutricionales en fincas ganaderas se siguieron cuatro pasos. El primero de ellos fue la toma de datos a través de preguntas. Seguido del establecimiento de escenarios base y escenarios de mejora, para finalmente realizar el análisis económico y ambiental correspondiente (Figura 3).

3.3.1 Recolección de datos

Se realizó una encuesta (Ver anexo 1) a cada uno de los 8 ganaderos seleccionados pertenecientes al distrito de Juan Guerra, provincia de San Martín, durante los meses de junio a agosto de 2021. La encuesta fue diseñada para obtener la siguiente información: Costos fijos (incluyendo terreno, electricidad, servicio de agua y desagüe, maquinaria y equipos, instalaciones y compra de semovientes), costos variables (tales como alimento, agroquímicos, medicinas, combustibles, servicios, mano de obra, y otros alimentos comprados), y además, datos de ingresos económicos como la producción de leche, el número de terneros en pie, el número de animales de descarte y los precios de venta de leche, de terneros en pie y animales de descarte.

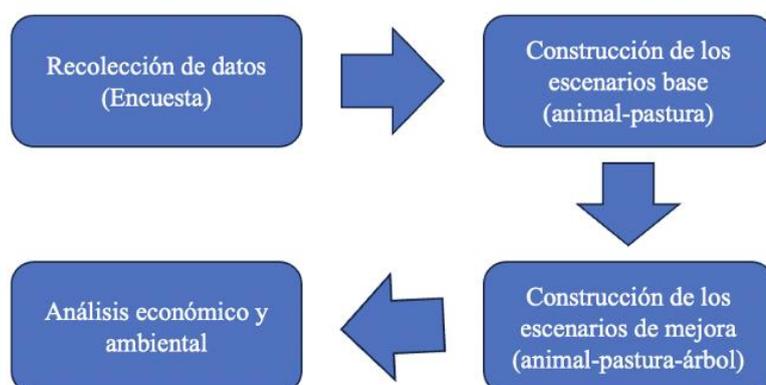


Figura 3: Esquema del proceso a seguir para la evaluación económica y ambiental de la simulación de estrategias para una ganadería sostenible en fincas de la región San Martín

3.3.2 Construcción de escenarios

Para cada una de las estrategias se elaboraron diferentes escenarios basados en características propias de las fincas ganaderas y ciertos supuestos asumidos para la zona. En el caso de la estrategia 1, se diseñaron 4 escenarios base (pastoril) y 4 escenarios silvopastoriles (silvopastoril). Respecto a la estrategia 2, se estableció un escenario sin el uso de bloque multinutricional (BMN) y otro escenario con su utilización. Todas las estrategias propuestas fueron modeladas utilizando la herramienta Microsoft Excel 2019.

3.3.3 Análisis económico

Se aplicó un esquema de flujo de efectivo descontado (Bullard y Straka 2011) para evaluar económicamente cada uno de los escenarios desarrollados en todas las estrategias. Además, se utilizó la herramienta Microsoft Excel 2019. Los indicadores económicos evaluados fueron el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio/Costo (BCR).

3.3.4 Análisis ambiental

Para la evaluación ambiental de la estrategia 1, se procedió a la estimación del secuestro de carbono proveniente del área boscosa como del área silvopastoril con bolaina blanca (*Guazuma crinita Mart.*) y capirona (*Calycophyllum spruceanum*), aparte de considerar la emisión de metano obtenido por fermentación digestiva. Para calcular el secuestro de carbono (bosque + SSP) de esta estrategia, se emplearon la herramienta Agrosilvopastoril v. 19.1 (Gómez *et al.* 2020) junto con hojas de Microsoft Excel 2019. Por otro lado, para estimar la emisión de metano entérico se utilizaron ecuaciones actualizadas del Nivel 2 (IPCC, 2019).

En cuanto a la estrategia 2, se realizó un análisis ambiental que incluyó únicamente la emisión de metano entérico, tanto para el escenario sin el uso de BMN como para el escenario con uso del BMN. Para esta estrategia, también se utilizaron ecuaciones

actualizadas del IPCC del año 2019 (Nivel 2).

3.3.5 Estrategias ganaderas

A continuación, se detalla cada una de las estrategias ganaderas que se implementarán mediante la simulación de escenarios, las cuales se listan:

a) Estrategia 1: Simulación de la implementación de arreglos silvopastoriles en callejones con bolaina blanca (*Guazuma crinita Mart.*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y Brachiaria (*Brachiaria brizantha*) versus sistema pastoril con Brachiaria (*Brachiaria brizantha*) en la región San Martín. Se asumieron 180 árboles por hectárea y se consideraron áreas de pastura de 10, 20, 25 y 30 hectáreas.

a.1 Características y supuestos de los escenarios

Se elaboraron ocho escenarios:

- En el primer escenario (A), se consideraron pequeños ganaderos con una extensión de pastoreo de 10 hectáreas, que estaban implementando un sistema pastoril con pastos cultivados, específicamente *Brachiaria brizantha*.
- En el segundo escenario (A1), los ganaderos estaban estableciendo un área con sistemas silvopastoriles (SSP) mediante arreglos de callejones dentro de la misma extensión total de pastoreo de 10 hectáreas. Se utilizó el mismo pasto cultivado que en el escenario A, pero se incorporaron dos especies de árboles maderables predominantes en la zona: bolaina blanca (*Guazuma crinita Mart.*) y capirona (*Calycophyllum spruceanum*).
- El tercer escenario (B), contempló sólo pastos cultivados, similar al escenario A, aunque el área de pastoreo fue de 20 hectáreas.
- En el cuarto escenario (B1), se replicaron las características del escenario A1; pero con una extensión de pastoreo de 20 hectáreas.
- En el quinto escenario (C), se consideraron sólo pastos cultivados, como en el escenario A, aunque con una extensión de pastoreo de 25 hectáreas.
- El sexto escenario (C1), replicó las características del escenario A1; sin embargo, el área de pastoreo fue de 25 hectáreas.
- El séptimo escenario (D), consideró sólo pastos cultivados, similar al escenario A, no obstante, el área de pastoreo fue de 30 hectáreas.
- Finalmente, el octavo escenario (D1), replicó las características del escenario A1, sin embargo, una extensión de pastoreo de 30 hectáreas.

Estos ocho escenarios se especifican en la Tabla 5.

Tabla 5: Escenarios y principales características de cada escenario propuesto para la estrategia uno en fincas de la región San Martín

Escenarios	Características
A: Pastoril (10 ha)	10 ha pasturas + 0 ha SSP (26 UA: 12 VO)
A1: Silvopastoril (10 ha)	8.6 ha pasturas + 1.4 ha SSP (22 UA: 10 VO)
B: Pastoril (20 ha)	20 ha pasturas + 0 ha SSP (51 UA: 24 VO)
B1: Silvopastoril (20 ha)	17.3 ha pasturas + 2.7 ha SSP (45 UA: 21 VO)
C: Pastoril (25 ha)	25 ha pasturas + 0 ha SSP (64 UA: 30 VO)
C1: Silvopastoril (25 ha)	21.6 ha pasturas + 3.4 ha SSP (55 UA: 26 VO)
D Pastoril (30 ha)	30 ha pasturas + 0 ha SSP (77 UA: 36 VO)
D1: Silvopastoril (30 ha)	25.9 ha pasturas + 4.1 ha SSP (66 UA: 31 VO)

SSP: Sistemas silvopastoriles; UA: Unidad Animal; VO: vacas en ordeño.

Estas características y supuestos se tomaron en base a que en la zona de estudio (San Martín) según Pizarro et al. (2019) las fincas ganaderas tienen una superficie inferior a 10 ha (47%), y entre 10 y 30 ha (35%). Por lo tanto, se asumieron como escenarios representativos fincas con 10, 20, 25 y 30 ha para la implementación de silvopastoralismo y así determinar cuáles podrían ser más rentables económicamente y a la vez más sostenibles ambientalmente. De la misma manera, el área silvopastoril, así como las unidades animales y la cantidad de vacas en lactancia se determinaron en función a investigaciones previas realizadas en la zona (Sánchez 2010; Echevarría et al. 2019; Rosemberg 2019).

Todos los supuestos utilizados en la construcción de los ocho escenarios se detallan en la Tabla 6, los cuales describen lo siguiente:

- Para los escenarios silvopastoriles, se estableció que el 13.6% del área total de pastoreo estaría cubierta por árboles maderables, tal como se ha observado frecuentemente en la zona (Echevarría *et al.* 2019).
- En todos los escenarios se asignó un porcentaje de área boscosa equivalente al 5.38% de la superficie total de la finca, como lo plantean Reátegui y Martínez (2007) para fincas de la región.
- Se fijó una carga animal de 2.6 UA por hectárea y el 60% de vacas en ordeño tanto para los escenarios pastoriles como silvopastoriles (Rosemberg 2019).
- Se consideró que la raza Brown Swiss y los cruces Holstein x Gyr mejorados, serían las razas predominantes en este estudio (Echevarría *et al.* 2019).
- Se estimó un promedio diario de rendimiento lechero de 9.3 kg leche por vaca en regímenes con pastos cultivados (Rosemberg 2019). Mientras que, para los escenarios

SSP, se asumió un aumento del 12% frente a los escenarios de pastos cultivados, según lo informado por Pezo e Ibrahim (1997), citado por Aguilar *et al.* (2019).

Tabla 6: Supuestos considerados para el escenario de la estrategia uno en fincas de la región San Martín

Escenarios	Área total (ha)	Pasturas cultivadas (ha)	Sistemas silvopastoriles (SSP)	Árboles dispersos de bosque secundario (ha)	Diseño de arreglo silvopastoril	Producción promedio (kg/vaca/día)	Total UA (#)	Total vacas en ordeño (#)	Terneros/año (#)
A	10.6	10	0	0.6		9.3	26	12	12
A1	10.6	8.6	1.4	0.6	Árboles en callejones	10.4	22	10	10
B	21.1	20	0	1.1		9.3	51	24	24
B1	21.1	17.3	2.7	1.1	Árboles en callejones	10.4	45	21	21
C	26.4	25	0	1.4		9.3	55	30	30
C1	26.4	21.6	3.4	1.4	Árboles en callejones	10.4	55	26	26
D	31.7	30	0	1.7		9.3	77	36	36
D1	31.7	25.1	4.1	1.7	Árboles en callejones	10.4	66	31	31

A: Pastoril (10 ha); A1: Silvopastoril (10 ha); B: Pastoril (20 ha); B1: Silvopastoril (20 ha); C: Pastoril (25 ha); C1: Silvopastoril (25 ha); D: Pastoril (30 ha); D1: Silvopastoril (30 ha). UA: Unidad Animal.

- Los datos económicos, como el precio de venta de leche fresca y ganado en pie, así como, costos fijos y variables fueron determinados a partir de encuestas realizadas a los ganaderos.
- Se consideró una duración de la lactancia de 270 días para todos los escenarios modelados (Girolando 2012).

Estos supuestos asumidos para la construcción de los 8 escenarios (Tabla 6) se consideraron en base a reunión con profesionales que conocen del tema y en base a trabajos de investigación como los indicados anteriormente (Pezo e Ibrahim 1997, citado por Aguilar *et al.* (2019); Girolando 2012; Reátegui y Martínez 2007; Echevarría *et al.* 2019; Rosemberg 2019).

a.2 Análisis económico

Se llevaron a cabo análisis detallados de los costos fijos totales, que abarcaron el número de cabezas de ganado (basado en un rebaño estabilizado), la colocación de pasturas mejoradas, la plantación arbórea, la infraestructura y arquitectura civil, vehículos y servicios básicos como agua, electricidad y drenaje. Además, se incluyeron los costos variables totales, que comprendieron la mano de obra, mantenimiento, sales minerales y agroquímicos como fertilizantes y herbicidas, medicamentos y combustibles. Estos costos se utilizaron para determinar la inversión total en cada escenario.

Además, se calcularon los ingresos económicos de cada finca por venta de leche, terneros de destete (6 meses de edad), animales excedentes, madera (solamente en los escenarios silvopastoriles), carbono proveniente de bosques y carbono almacenado en los árboles de los escenarios silvopastoriles.

En este análisis, se tomó en cuenta un transcurso de diez años. Se realizó una evaluación de la utilidad bruta y del desempeño económico para cada escenario simulado, considerando indicadores económicos, como el valor actual neto económico (VANE), la tasa interna de retorno económico (TIRE) y la relación beneficio-costos (BCR).

Se impusieron tasas de descuento diferenciadas en todos los escenarios. Así, estas tasas variaron según la entidad financiadora de la inversión y el tipo de sistema a instalar. Para los sistemas de pastos cultivados y SSP, se emplearon tasas sociales de 8% y 4% de descuento,

respectivamente. Estas tasas se basaron en consideraciones de inversión como parte de un proyecto público nacional (MEF 2016). Por otro lado, para los proyectos privados, se aplicó una tasa de descuento comercial del 13.7% para microempresas a nivel nacional (SBS 2020). La utilidad bruta se calculó de la siguiente manera:

$$Utilidad\ Bruta = \frac{Ingresos\ totales}{Costos\ de\ producción}$$

Donde:

$$\begin{aligned} Ingresos\ Totales &= (Venta\ de\ leche + Venta\ de\ terneros\ en\ pie + \\ & \quad Venta\ de\ madera\ (sólo\ escenarios\ SSP)) \\ Costos\ de\ producción &= (Costo\ de\ producción\ de\ leche \\ & \quad + Costos\ de\ producción\ de\ terneros\ en\ pie \\ & \quad + Costos\ de\ producción\ de\ madera\ (sólo\ escenarios\ SSP)) \end{aligned}$$

Luego, se evaluó la eficiencia técnica en términos de productividad por animal, medida en kg de leche/vaca/día y la cifra de animales destinados para venta, así como el rendimiento de madera en pies tablares (pt). Para calcular la productividad lechera anual, se multiplicó la cantidad de vacunos en ordeño por la duración de la lactancia (270 días) y el rendimiento diario de leche. El número de animales para la venta se estimó considerando el número de terneros entre 6 a 8 meses de edad, con un peso entero promedio de 100 kg. Además, para calcular el número de animales excedentes vendidos cada año, con un peso total de 250 a 300 kg, se consideró una tasa de preñez del 60% (Sánchez 2010). La producción de madera en las fincas silvopastoriles se determinó utilizando la fórmula de Doyle (SERFOR 2019), la cual se detalla a continuación:

$$Volumen\ (pt) = \frac{(Ds - 4)^2}{16} * L$$

Donde:

Volumen: Volumen de madera en pies tablares.

Ds: Diámetro pequeño en pulgadas (50 cm DAP= 19.69 pulgadas).

L: Longitud del tronco en pie.

Para calcular el volumen en pies tablares, se utilizaron datos obtenidos a partir de conversaciones con expertos y revisiones previas efectuadas en el departamento de San Martín sobre las especies arbóreas mencionadas. Se consideró un diámetro de 50 cm y una longitud de tronco en pie de 10 m para la bolaina blanca; y un diámetro de 45 cm y una misma longitud para la capirona (Del Castillo 2018). Para convertir el diámetro a pulgadas,

se utilizó el factor de conversión de 1 cm equivalente a 0.3937 pulgadas y, para convertir la longitud en metros a pies, 1 pie se calculó como 30.48 cm.

Finalmente, el valor resultante se multiplicó por el número de árboles de la finca. En el caso de la madera de bolaina blanca, se consideraron dos etapas de aprovechamiento: la mitad de árboles en el año 7 y la cantidad remanente en el año 10. De igual forma, dado que la capirona tiene un período de crecimiento más largo que el horizonte temporal considerado en esta investigación, su producción de madera se estimó hasta el año 10.

En todos los escenarios, se incluyeron la valoración económica del costo de la tierra, el componente ganadero y la fuerza de trabajo del ganadero, con el objeto de considerar el costo alternativo que estos tres factores podrían tener sobre los ingresos del propietario. La eficiencia económica en términos de ingresos económicos por producto vendido, se calculó multiplicando la producción anual de leche por el importe del litro de leche, que se estableció en S/.1.10. Además, para calcular los beneficios económicos obtenidos de los animales vendidos se consideraron los precios individuales de los terneros (S/. 600.00) y los animales excedentes (S/. 1400.00). Asimismo, para estimar el valor comercial de la madera por pie tablar, se asumieron valores para la bolaina blanca de S/. 1.40 y la capirona a S/. 2.25 (MINAGRI 2013).

En el caso de la bolaina blanca, se asumió que la mitad de las ventas se realizarían en el año 7 y el resto en el año 10. Mientras que, en el caso de la capirona, se calculó el precio que tendría en el año 10 realizando una proyección de su valoración económica, ya que esta especie se cosecha en el año 15. Además, en todos los escenarios modelados, la cantidad de carbono secuestrado de los árboles en SSP y la extracción de dióxido de carbono de los bosques existentes se multiplicaron por los precios asignados por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF 2016).

a.3 Análisis ambiental

Se calcularon valores de secuestro de carbono debido a la presencia de bosques en todos los escenarios planteados. Se empleó una tasa promedio de secuestro de carbono de 22.6 t de carbono/ha/año (Callo-Concha *et al.* 2002). Este cálculo se realizó multiplicando esta cantidad por el número de hectáreas de árboles dispersos de bosque secundario en cada escenario durante un periodo de diez años y luego multiplicando por el factor 44/12 para

su conversión a toneladas de CO₂ (IPCC 2019).

Además, para todos los escenarios (pastoriles y silvopastoriles) se estimaron cálculos de metano entérico/cabeza/día, así como las emanaciones de CH₄ entérico anuales. Se emplearon ecuaciones actualizadas del IPCC del año 2019 (Nivel 2), y se utilizó la herramienta Microsoft Excel 2019. No obstante, únicamente para los escenarios silvopastoriles (A1, B1, C1, D1) se realizó la estimación de la captura de CO₂ haciendo uso de una herramienta de simulación conocida como Agrosilvopastoril v 19.1. (Gómez *et al.* 2020).

b) Estrategia 2: Simulación del uso de bloques multinutricionales en fincas pastoriles de la región San Martín.

Para identificar la contribución del uso de bloques multinutricionales en fincas pastoriles, se describe a continuación el procedimiento utilizado (Figura 4):

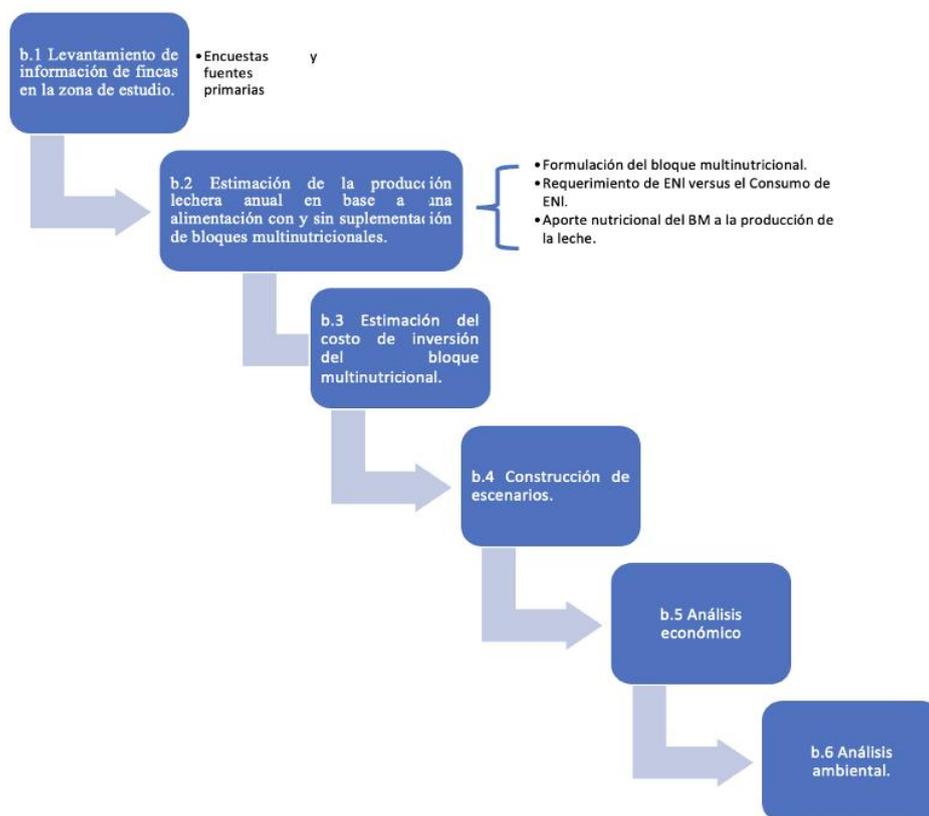


Figura 4: Diagrama de flujo para la simulación del uso de bloques multinutricionales en fincas pastoriles de la región San Martín

b.1 Levantamiento de la información de fincas en la zona de estudio

La toma de información proveniente de las fincas evaluadas se realizó a través de encuestas y con información de fuentes primarias.

b.2 Estimación de la producción lechera anual en base a una alimentación con y sin suplementación de bloque multinutricional

Para estimar la producción lechera de forma anual en base a una alimentación con y sin suplementación de bloques multinutricionales (BMN) se siguieron los siguientes pasos:

- Formulación del bloque multinutricional

En la Tabla 7 se muestra la lista de insumos tradicionales característicos de la zona utilizados para la elaboración del BMN, así como el costo/kg de cada ingrediente. Para determinar la composición y la cantidad requerida de cada insumo en la formulación del BMN se llevaron a cabo investigaciones en diversas fuentes (Godoy *et al.* 2019; Godoy *et al.* 2020; Huanca 2018; Mata 2016).

Tabla 7: Composición nutricional de los insumos utilizados para elaborar el bloque multinutricional en fincas de la región San Martín

Insumos	MS (%)	PC (%)	Grasa (%)	FDN (%)	Ceniza (%)	ENI (Mcal/kg MS)	DIVM S (%)	Costo (S./) /kg
Polvillo de arroz	89.0	13.7	13.5	12.8	6.2	1.6	90.3	0.6
Cascarilla de arroz	97.2	3.9	0.2	68	13.2	0.8	31.2	0.1
Pulpa de café	94.3	12.9	2.4	37.2	5.8	1.3	79.3	0.1
Nielen	88.2	10.1	0.5	1	0.8	1.8	99.1	0.6
Melaza	73.7	4.3	20		10.1	1.3	80.0	1.0
Urea	95.0	287.5						1.6
Cemento	20.0							0.5
Sal	85.8							0.2
Vitaminas y Minerales	50.0							2.0

MS: Materia seca, PC: Proteína cruda, FDN: Fibra detergente neutra, ENI: Energía Neta de Lactancia,

DIVM: Digestibilidad in vitro de la materia seca.

Fuente: Godoy *et al.*, 2019; Godoy *et al.*, 2020; Huanca, 2018; Mata, 2016.

En la Tabla 8 se detalla la proporción de cada ingrediente que conforma el BMN, así como el costo total por cada kilo.

Tabla 8: Formulación y costo total del bloque multinutricional en fincas pastoriles de la región San Martín

Insumos	Costo (S/.) / Kg	BMN (%)	Costo Total (S/.)
Polvillo de arroz	0.6	25	15.0
Pulpa de café	0.1	4	0.2
Nielen	0.6	27	16.2
Melaza	1.0	12	12.0
Urea	1.6	10	16.0
Cemento	0.5	13	6.5
Sal	0.2	5	1.0
Vitaminas y Minerales	2.0	4	8.0
Total		100	74.9

BMN: Bloque multinutricional.

- Requerimiento versus Consumo de Energía Neta de Lactancia

Para calcular el requerimiento de Energía Neta de Lactancia (ENL) para la producción de 10.4 kilos de leche se utilizaron dos ecuaciones actualizadas del IPCC del año 2019. Las estimaciones se pueden apreciar en la Tabla 9.

Tabla 9: Requerimiento de ENL (MJ) para producir un kilo de leche en fincas pastoriles de la región San Martín

En

REQUERIMIENTO	
Promedio EN lactancia, MJ/día	70.99
Producción promedio de leche, kg/vaca/día	10.40
Promedio EN lactancia para producir un kilo de leche, MJ/kg	6.83

Energía Neta de Lactancia requerida para producción (MJ/d) = ENm + ENl

- Ecuación 10.3

$$ENm \text{ (MJ/día)} = Cfi \times W^{0.75}$$

Donde:

ENm: Energía neta de mantenimiento (MJ/d).

Cfi: Coeficiente para vacas en ordeño, 0.386.

W: Peso vivo promedio, kg.

$$ENm \text{ (MJ/día)} = 0.386 \times (512.25)^{0.75}$$

$$ENm \text{ (MJ/día)} = 41.56$$

- Ecuación 10.8

$$ENl \text{ (MJ/día)} = \text{Producción de leche} \times (1.47 + 0.4 \times \text{grasa})$$

Donde:

ENl = Energía neta de lactancia (MJ/d)

Producción de leche = Promedio de producción de leche (kg/día)

Grasa = Promedio del porcentaje de grasa.

$$ENl \text{ (MJ/día)} = 10.4 \times (1.47 + 0.4 \times 3.4)$$

$$ENl \text{ (MJ/día)} = 29.43$$

Entonces:

$$\text{Requerimiento de Energía Neta de Lactancia (MJ/día)} = 41.56 + 29.43 = 70.99$$

Con respecto al consumo de energía neta de lactancia, primero se estimó el consumo de energía bruta (EB) en MJ/d, siguiendo las ecuaciones dadas en el Capítulo 10 del IPCC (2019).

$$EB \text{ (MJ/día)} = (ENl + ENm + ENa + ENp)/REM + (ENg)/REG$$

Donde:

EB = Energía bruta (MJ/día)

ENl = Energía neta de lactancia (MJ/día)

ENm = Energía neta de mantenimiento (MJ/día)

ENa = Energía neta de actividad (MJ/día)

ENp = Energía neta de preñez (MJ/día)

ENg = Energía neta de ganancia (MJ/día)

REM = Proporción de EN disponible en la dieta para el mantenimiento;

REG = Proporción de EN disponible en la dieta para el crecimiento.

Estos cálculos se realizaron para los 2 escenarios (con BMN y sin BMN) en las 3 categorías (animales en ordeño, en secado y terneros). Para esta estrategia se tomó el valor de EB de la categoría vacas en ordeño del escenario sin BMN. El promedio de EB fue 271.64 MJ/día.

Luego se realizó la estimación de la energía digestible (ED) haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$ED = EB * DMS$$

Donde:

ED = Energía digestible (MJ/día)

EB = Energía bruta (MJ/día)

DMS = Porcentaje de digestibilidad de la materia seca del alimento, el cual fue tomado del componente 1 de esta investigación (huella de carbono), considerando el promedio de DIVMS del alimento de las 4 fincas con escasa cobertura arbórea. Para el escenario sin BMN se utilizaron valores de digestibilidad de pastura y polvillo, mientras que para el escenario con BMN se consideró además la digestibilidad del suplemento nutricional.

En seguida se estimó la energía metabolizable (EM) como se muestra a continuación:

$$EM = ED * 0.82$$

Posteriormente, se calculó la ENl consumida por las vacas en ordeño de forma anual para

el escenario sin BMN (aporte del polvillo + pastura) y para el escenario con BMN (aporte del polvillo + pastura + bloque).

$$\text{ENI sin BMN} = \text{ENI polvillo} + \text{ENI pastura}$$

$$\text{ENI con BMN} = \text{ENI polvillo} + \text{ENI pastura} + \text{ENI bloque}$$

Donde:

ENI: Energía neta de lactancia

Los cálculos de ED, EM y ENI se realizaron de forma anual como se muestra a continuación en las Tablas 10 y 11.

Tabla 10: Consumo de energía anual para el escenario sin bloque multinutricional, en fincas pastoriles de la región San Martín

MJ/día			
EB	ED	EM	ENI
271.64	163.04	133.69	69.20

EB: Energía bruta; ED: Energía Digestible; EM: Energía metabolizable; ENI: Energía neta de lactancia.

Tabla 11: Consumo de energía anual para el escenario con bloque multinutricional, en fincas pastoriles de la región San Martín

MJ/día			
EB	ED	EM	ENI
271.64	168.19	137.92	70.99

EB: Energía bruta; ED: Energía Digestible; EM: Energía metabolizable; ENI: Energía neta de lactancia.

- Aporte nutricional del BMN a la producción de leche

Basándonos en el desempeño promedio diario de 10 kg de leche/vaca obtenida en el componente 1 de este estudio, y asumiendo un ascenso del 4% en este rendimiento lechero según Godoy *et al.* (2020) y Araujo-Febres (2005), se estimó la cantidad de BMN necesarios para alcanzar 10.4 kg leche/vaca/día.

Para ello, primero se calculó el déficit de ENI, es decir la ENI requerida menos la ENI consumida (MJ).

$$\text{Déficit (MJ/día)} = \text{MJ/día necesarios} - (\text{Aporte del polvillo} + \text{Aporte de la pastura})$$

$$\text{Déficit (MJ/día)} = 70.99 - (13.40 + 55.78)$$

$$\text{Déficit (MJ/día)} = 1.81$$

Así también, se estimó la cantidad de BMN necesaria para cubrir ese déficit energético de la siguiente manera:

$$1 \text{ kg de BM} \dots\dots 4.56 \text{ MJ}$$

$$X \dots\dots 1.81 \text{ MJ}$$

$$X = 0.397 \text{ kg de BMN}$$

Finalmente, se encontró que para producir 0.40 kg de leche adicionales se necesita la suplementación de 0.397 kg de BMN.

Adicionalmente, la cantidad de leche producida en los dos escenarios se sintetiza en la Tabla 12.

Tabla 12: Producción de leche (kg) sin la suplementación de bloques multinutricionales (BMN) y con la suplementación de BMN de forma anual, para fincas pastoriles de la región San Martín

Sin BMN (pastura + polvillo)	Con BMN (pastura + polvillo + BMN)
10.00	10.40

b.3 Estimación del costo de inversión del bloque multinutricional

El costo de inversión anual considerado para la elaboración del BMN se proporciona en la Tabla 13.

Tabla 13: Costo de inversión anual de los bloques multinutricionales en fincas pastoriles de la región San Martín

Materiales	Unidades	Precio Unitario (S/.)	Inversión anual
Tubo pvc 6" x 3m	6	316.2	189.7
Palana	2	31.9	63.8
Depreciación	1	221.6	221.6
TOTAL			475.1

b.4 Construcción de escenarios

Se construyeron dos escenarios. 1) escenario sin uso de BMN y 2) escenario con uso de BMN.

Escenario sin uso de BMN:

- Características

Es una finca basada en el uso de pasturas cultivadas, específicamente *Brachiaria brizantha*, con una extensión de pastoreo de 23 hectáreas que no recibe fertilización, realizándose solamente labores de limpieza de malezas. Se emplea un sistema de rotación de potreros, delimitados con alambre de púas. El alimento principal brindado a los animales es la pastura, complementada con 2 kg diario de polvillo/cabeza, exclusivamente para vacas en periodo de ordeño. La actividad principal es la productividad lechera, la cual es destinada íntegramente a la comercialización (100%). Se estima una producción diaria promedio de 10 kg leche/vaca (Tabla 14).

- Supuestos asumidos

Es una finca que cuenta con árboles nativos en el área de pastoreo. Los árboles no son comercializados porque no son maderables. Se supuso una carga animal de 2.6 Unidades Animal (UA) por ha (Rosemberg 2019). Para obtener el número total de UA, se multiplicó

el área ocupada por pastos cultivados por la carga animal establecida. Se consideró un 60% de vacas en ordeño (Sánchez 2010). Por lo tanto, el total de vacas lactantes fue de 28 y 18 vacas en periodo de seca, manteniendo una proporción de 60:40.

Finalmente, el número de terneros fue de 27 terneros nacidos por año, considerando sólo una tasa de mortalidad del 2% (Tabla 14).

Tabla 14: Características y supuestos del escenario sin el uso de bloques

Área total (ha)	Pastos cultivados (ha)	Producción promedio (kg)/vaca/día	Carga animal UA/ha	N° UA	N° Vacas en ordeño	N° Vacas en seca	N° Terneros/año
54.0	23.0	10.0	2.6	60	28	18	27

UA: Unidad Animal.

Escenario con uso de BMN:

- Características

Las características de este escenario son similares al escenario sin uso de bloque multinutricional. Sin embargo, se adicionó el BMN como fuente de alimento, y, además, se asumió un rendimiento promedio lechero por vaca de 10.40 kg/día, considerando el aporte del BMN. (Tabla 15).

- Supuestos asumidos

Los supuestos son similares al escenario sin suplementación de bloque multinutricional. (Tabla 15).

Tabla 15: Características y supuestos del escenario con el uso de bloques multinutricionales en fincas pastoriles de la región San Martín

Área total (ha)	Pastos cultivados (ha)	Producción promedio con bloque (kg)/vaca/día	Carga animal UA/ha	N° UA	N° Vacas en ordeño	N° Vacas en seca	N° Terneros/año
54.0	23.0	10.4	2.6	60	28	18	27

UA: Unidad Animal.

b.5 Análisis económico

Escenario sin BMN:

Los costos operativos de la finca se estimaron de forma anual. Estos costos fueron: mano de obra de un empleado permanente, compra de polvillo, sales minerales, medicina y uso de combustible. Luego, se determinó el coste de producción de un kilo de leche fresca de la finca sin la suplementación del BMN. A continuación, se calcularon las entradas totales de la finca, que provienen de la comercialización de terneros destetados, animales de descarte y leche. Finalmente, se elaboró un estado de ingresos y gastos para calcular el beneficio bruto.

Escenario con BMN:

Los costos operativos se estimaron de forma similar que para el escenario sin suplementación de BMN. Sin embargo, se adicionaron los costos de los ingredientes para la elaboración del BMN, considerando su uso durante los 12 meses del año. Luego, se determinó el costo de fabricación de un kilo de leche de la finca con la suplementación del BMN. Posteriormente se realizaron cálculos de ingresos totales, y se elaboró el estado de ganancias y pérdidas siguiendo el mismo procedimiento que para el escenario sin BMN.

Luego de analizar cada escenario por separado, se puso en práctica un diagnóstico del flujo de caja diferencial de los ingresos y egresos de los escenarios sin BMN versus los escenarios con BMN. Para esto, se tomaron en cuenta los indicadores económicos previamente descritos (VANE, TIRE y Relación Beneficio/Costo).

b.6 Análisis ambiental

Para la evaluación ambiental se calculó tanto la cantidad diaria de emisión entérica de metano/animal, así como el metano entérico anual, tanto para el escenario con el uso de bloques multinutricionales (BMN) como para el escenario sin el uso de BMN. Se emplearon ecuaciones actualizadas del IPCC del año 2019 (Nivel 2). El cómputo se efectuó haciendo uso de Microsoft Excel 2019.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE FINCAS EVALUADAS EN LA REGIÓN SAN MARTÍN

En la Tabla 16 se precisan los componentes primordiales de las ocho fincas evaluadas (F1-F8). Se encontró que estas fincas presentaron una superficie promedio de 51.5 ± 26 ha, de las cuales 30.1 ha en promedio estaban destinadas para pastoreo. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Rosemberg (2016), quien menciona que las fincas en el trópico peruano tienen en promedio 60 ha. Además, en relación al área pastoril, estos resultados resaltan la importancia de la crianza ganadera en estas fincas, ya que proporcionan para pastoreo el 58% del área total.

Respecto al componente arbóreo, se observó que todas las fincas evaluadas presentaron cobertura arbórea, siendo el arreglo silvopastoril predominante las cercas vivas con bolaina negra (*Guazuma ulmifolia* Lam). El porcentaje promedio de árboles dentro del área pastoril fue de 22.5%. La presencia arbórea en las fincas coincide con lo informado por Pizarro *et al.* (2019) para la zona de Moyobamba, San Martín, en donde el 21% de los encuestados presentaba entre 1 y 5 ha de SSP dentro de sus fincas. Esto resalta la importancia y el auge de estos sistemas en la región.

En cuanto a la alimentación, se observó que el principal alimento utilizado fue la brachiaria (*Brachiaria brizantha*), una especie de pastura cultivada que tiene una distribución amplia a nivel mundial (GBIF 2021). Esta especie de pasto es especialmente destacada en San Martín. Estos hallazgos coinciden con lo encontrado por Pizarro *et al.* (2019) para esta región, quienes reportaron que las especies prevalentes en la zona incluyen brachiaria (variedades *brizantha* y *decumbens*), maní forrajero (*Arachis pintoi*), kudzu (*Pueraria phaseoloides*), pangola (*Digitaria decumbes*), torourco (*Axonopus compressus*) y pasto de agua (*Paspalum dilatatum*). La prevalencia de la brachiaria podría explicarse a su fácil adaptación a los trópicos húmedos y subhúmedos (Heuzé *et al.* 2016).

Tabla 16: Características generales de cada finca evaluada en la región San Martín

Ítems	Fincas								Promedio
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	
Superficie, ha	54.0	44.0	88.6	22.5	29.0	90.0	53.5	30.0	51.5
Cultivos, ha	2.0	6.0	2.0	0.4	0.3	1.5	1.0	5.0	2.3
Pastura, ha	23.0	25.0	60.0	19.0	24.0	35.0	33.0	22.0	30.1
Área silvopastoril dentro del área de pastoreo, %	31.4	33.2	24.3	37.2	12.9	15.2	16.3	9.7	22.5
Producción promedio leche, L/vaca/día	10.1	9.3	9.5	9.8	11.3	10.0	8.6	9.0	9.7
Producción promedio LCGP, kg/vaca/día	10.6	9.7	9.9	10.2	11.8	10.5	9.0	9.4	10.1
Total de animales, #	56	54	97	96	79	37	56	60	66.9
Vacas en producción, #	17	14	18	22	32	13	15	15	18.3
Vacas secas, #	11	11	15	20	14	11	4	11	12.1
Reemplazos, #	17	23	50	30	19	9	26	26	25.0
Toros (semental), #	2	1	2	0	2	1	1	1	1.3
Animales para carne, #	9	5	12	24	12	3	10	7	10.3
Vacas desecho, #	3	3	3	4	5	2	2	3	3.0

LCGP: leche corregida a 4% de grasa y 3.5% de proteína; F1: Finca 1; F2: Finca 2; F3: Finca 3; F4: Finca 4; F5: Finca 5; F6: Finca 6; F7: Finca 7; F8: Finca 8.

Es importante mencionar que el uso de pasturas tropicales ofrece ventajas para disminuir las emanaciones de metano entérico en la ganadería vacuna, esto debido a que los taninos condensados y las saponinas presentes en follajes, vainas y semillas de árboles y arbustos tropicales (de Asia, África, Oceanía y Latinoamérica), contribuyen a reducir entre 10 y 25% el rendimiento de metano (Ku-Vera *et al.* 2020).

Respecto al componente ganadero, se observó que el 56% de las vacas maduras se encontraban en lactancia. Este valor es ligeramente mayor a lo señalado por Menéndez *et al.* (2004) en su estudio en La Habana, donde el 49.5% de las vacas estaban en periodo de ordeño. Asimismo, el estudio de Menéndez *et al.* (2004) encontró que existe relación entre el mayor número de celos detectados y el aumento del intervalo entre partos (IP). El manejo adecuado del tiempo de IP es fundamental para aumentar o disminuir la proporción de vacas lactantes, y de este modo incrementar el rendimiento lácteo total por hato.

En cuanto a la presencia de animales reproductores, es significativo resaltar que este estudio encontró que cada finca poseía al menos un macho reproductor ya que predomina la monta natural (Tabla 16). Este dato coincide con IICA (2014) quien señala que la agricultura familiar en América Latina tiene algunas restricciones, como un acceso reducido a bienes, tecnología y servicios para la producción en comparación con la agricultura a escala comercial.

La producción media lechera alcanzó 9.7 litros de leche/vaca/día (Tabla 16). Este valor encontrado podría atribuirse a la presencia de sistemas silvopastoriles en todas las fincas. Estos resultados concuerdan con Yepes y Sarmiento (2016), quienes encontraron, en un estudio realizado en Colombia, una producción láctea diaria de 3.73 litros/vaca en sistemas silvopastoriles versus sistemas tradicionales (3.07 litros/vaca), significando un incremento de 21.5% ($p < 0.05$). De la misma manera, Murgueitio *et al.* (2014) destacan que los SSP intensivos favorecen al aumento de carne y/o leche.

El 90% de los ganaderos incluidos en este estudio ordeñaban solamente una vez al día. Esta práctica es común en estos sistemas de trópico debido a varias razones, como el uso de ganado no especializado (cruces con cebú), el deficiente desempeño del ganado lechero y el largo tiempo de destete de los terneros (entre 7 a 9 meses de edad). Aunque, el ordeño una vez al día puede resultar en una menor producción de leche, algunos estudios sugieren que

esta práctica puede traer algunos beneficios, tales como disminuir la mano de obra y mejorar el estado físico de las hembras adultas, preparándolas mejor para la fase de seca y el parto (Andrade *et al.* 2016; Lazzarini y Baudracco 2019).

En este estudio, se observó que los cruces Gyr x Holstein fueron la raza predominante en las fincas evaluadas, esto debido a que es el genotipo lechero más común en la zona. Según Echevarría *et al.*, (2019), el 19% de ganado dominante en la Amazonía peruana proviene de cruces mejorados. De la misma manera, MINAGRI (2015), indica que, en los departamentos de la Amazonía peruana, el cebú (Gyr y Guzerát) se están desarrollando cruzamientos con Holstein y Brown Swiss para potenciar el rendimiento lácteo. Estos cruces, son originarios de Brasil, donde se obtuvieron los primeros cruces (Girolando: 5/8 Holstein y 3/8 Gyr). Entre sus particularidades están su alta precocidad, longevidad, fertilidad, y rusticidad, además de su alto rendimiento productivo (leche) en climas tropicales, con una producción promedio de 11.8 kg leche por vaca al día y una lactancia de 280 días en promedio (Pineda 2018; Caiza 2021).

4.2 ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE

4.2.1 Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en fincas productoras de leche

Para cada explotación ganadera se estimaron las emisiones de tres gases de efecto invernadero (GEI): metano, óxido nitroso y dióxido de carbono (Tabla 17).

a) Metano

Se encontró que la fuente de emisión de GEI más importante fue el metano entérico, representando el 79.9%. Este hallazgo concuerda con Rivera *et al.* (2016) en Colombia, quienes identificaron que el CH₄ constituyó el 84% de estas emanaciones para un sistema silvopastoril intensivo dedicado a la producción láctea. Además, concuerda con los resultados encontrados por Alpízar (2022) en un sistema lechero de Costa Rica, donde se reportó una emisión de 77.49%. Sin embargo, es más alto a lo presentado por Morais *et al.* (2018), donde el metano se encontró en un rango de 33 a 52% en fincas lecheras al pastoreo de Portugal.

Tabla 17: Fuentes de emisión en kg de CO₂e para cada finca evaluada en la región San Martín

Fuente de Emisiones	kg de CO ₂ e/finca/año								Promedio	Error estándar
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8		
Metano entérico	100,672	87,416	163,043	172,160	196,465	70,215	77,998	110,906	122,359	49
Metano del estiércol	2,965	2,309	4,234	5,419	5,607	1,851	2,048	2,038	3,309	9.6
Óxido nitroso por manejo de estiércol	12,196	9,189	17,943	21,127	20,141	9,177	12,934	10,965	14,209	14.3
Óxido nitroso por manejo de suelos	7,108	5,653	11,353	12,448	13,119	5,349	8,184	10,648	9,233	11.3
Dióxido de carbono por combustible	1,742	3,408	5,117	210	6,518	547	1,371	4,201	2,889	15
Dióxido de carbono por energía	0	1,208	0	1,733	2,114	0	0	0	632	12.7
Total	124,683	109,182	201,689	213,096	243,964	87,139	102,535	138,759	152,631	

F1: Finca 1; F2: Finca 2; F3: Finca 3; F4: Finca 4; F5: Finca 5; F6: Finca 6; F7: Finca 7; F8: Finca 8.

De manera similar, es mayor que la registrada en sistemas de producción lechera al pastoreo en Nueva Zelanda, donde alcanzó el 62% (Flysjö *et al.* 2011). Así también, al comparar este estudio con aquellos que no usan pastoreo, nuestros hallazgos superaron los resultados informados por Flysjö *et al.* (2011) para sistemas semi-estabulados en Suecia, donde la emisión de metano entérico alcanzó el 46%.

En el contexto peruano, se han efectuado diversas investigaciones que abordan la evaluación de las emisiones de metano entérico utilizando la metodología de nivel 3 propuesta por el IPCC. Entre estos trabajos se destacan algunos que emplean medidas directas en el ganado por medio de la metodología que emplea el marcador hexafluoruro de azufre (Moscoso *et al.* 2017; Ayala *et al.* 2020; Salas-Riega *et al.* 2021; Alvarado-Bolovich *et al.* 2021). A pesar de estos esfuerzos, es importante señalar que estas evaluaciones se centran específicamente en el animal y no consideran las diversas categorías presentes en las fincas ganaderas, esto debido a su alto costo, limitando así la comprensión íntegra de las emanaciones de metano en esta región.

En este trabajo de investigación, se identificaron factores relevantes que podrían afectar la emisión de metano de la fermentación digestiva del ganado. Uno de los aspectos destacados fue la condición del pienso, así una mayor digestibilidad del alimento se asoció con una reducción en la cantidad de metano entérico emitido por el animal. Otro factor fue la categoría animal, siendo las hembras adultas lactantes las que presentaron mayores niveles de metano entérico. Así también, se observó variabilidad entre la ingesta de materia seca según el peso del animal y la clase de alimento ingerido. También, un rendimiento lechero más alto produjo una emisión de metano entérico mayor, así las vacas con mayores producciones fueron las que generaron mayores emisiones totales debido a sus requerimientos alimenticios más altos; no obstante, la emisión por unidad de producto fue menor.

Al respecto, la composición y digestibilidad de la dieta ejercen un efecto destacado en la producción de metano en rumiantes, ya que afectan las concentraciones de hidrógeno en el rumen, la disponibilidad de sustratos para la fermentación y el modelo de fermentación digestiva (Smith *et al.* 2022). Así también, en un análisis ejecutado por Villanueva (2022) en Costa Rica, se encontró que las vacas lecheras exhibieron variaciones en las emanaciones de metano entérico durante la lactancia y el secado, con una mayor emisión de este gas por

unidad de materia seca durante el segundo periodo. Estos indicadores experimentaron cambios a lo largo del ciclo de lactancia, vinculados a la ingesta y condición de la materia seca en el pienso del ganado. Además, se encontró que un rebaño con una cifra significativa de animales en crecimiento aporta mayores cantidades de metano y fósforo por medio del estiércol por unidad de leche en contraposición a un rebaño que tiene un porcentaje más alto de vacas de varios partos (Hristov *et al.* 2013).

b) Óxido nitroso

En cuanto a las emisiones de óxido nitroso (N₂O) procedente de la gestión del estiércol y suelos, éstas representaron el 15.7 % del total de emisiones. Estas observaciones son inferiores a las descubiertas por Cerri *et al.* (2015) en Brasil, allí las emisiones de estiércol y excrementos depositados en el campo constituyeron entre el 20 y el 33 %, incluyendo la aplicación de fertilizantes, cal y pesticidas. No obstante, son superiores a los informados por un estudio en Colombia, donde el 12% de las emisiones totales en fincas con SSPi fueron atribuibles al N₂O, el cual estaba relacionado con fertilizantes químicos y orgánicos, además de excreciones de nitrógeno vía estiércol y orina (Rivera *et al.* 2016).

Este estudio sugiere que las emanaciones de N₂O están influenciadas por algunos factores, destacándose el tipo de manejo de estiércol en sistemas de pastoreo extensivo, en el cual no se realiza ninguna acción y los animales dejan el estiércol directamente en el potrero mientras pastorean. Así también, el total de animales adultos por rebaño, pues la emisión de N₂O, fue mayor cuanto mayor era el número de animales. La eficiencia individual de cada animal, medida en términos de la cantidad de nitrógeno ingerido y retenido. Además, el clima, debido a que, en un clima húmedo de trópico, la materia orgánica se descompone más rápidamente, liberando mayores cantidades de nitrógeno a la atmósfera.

Al respecto, un estudio encontró que las emisiones de N₂O en regímenes al pastoreo están afectadas por diversos factores, tales como la situación del clima y el suelo, la modalidad de pastoreo y la cantidad de animales que puede soportar la pastura por hectárea (Núñez-Ramos *et al.* 2021). Así también, un estudio realizado en Chile, señaló que el uso eficiente de nitrógeno en ganado lechero está asociado con varios factores, como la producción lechera, la relación entre carbohidratos no fibrosos y proteína cruda, la ingesta de fibra detergente ácida y nitrógeno de urea en leche (Beltran *et al.* 2022).

c) Dióxido de carbono

Como se aprecia en la Tabla 17, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) procedentes de los combustibles y del consumo de energía eléctrica representaron el 2% del total de emisiones. Estos resultados están dentro del rango reportado por Cerri *et al.* (2015), quienes estimaron un rango de emisiones entre 1 y 11%, provenientes de insumos agrícolas, combustibles fósiles y electricidad. Sin embargo, nuestros hallazgos son inferiores a lo informado por Rivera *et al.* (2016), quienes observaron que fincas con regímenes silvopastoriles intensivos de Colombia, alcanzaron una emisión del 4%.

En el presente trabajo se identificaron diversos factores que contribuyeron a la obtención de bajas emanaciones de dióxido de carbono. Estos factores incluyeron el bajo uso de suplementos alimenticios, el escaso empleo de energía eléctrica, y el limitado empleo de maquinarias. Esto se debió principalmente a que, en este estudio los sistemas pastoriles incluyeron la presencia de árboles. La disposición arbórea en estos sistemas contribuye a reforzar el contenido del pienso para el ganado y, además, a la captura de carbono. Esto resalta la importancia de contemplar los arreglos silvopastoriles como una opción para atenuar las consecuencias desfavorables de las modificaciones climáticas en nuestra nación.

Al respecto, Ilyas *et al.* (2019) encontraron en un estudio realizado en Nueva Zelanda, que un sistema intensivo produjo un 18% y 11% más emisiones que un sistema pastoril, tanto por hectárea de superficie agrícola como por tonelada de sólidos lácteos, respectivamente. Esto se atribuyó al mayor uso de suplementos alimenticios importados, así como un mayor uso de máquinas y empleo de diésel y gasolina para actividades en la granja en el sistema estabulado.

Además, cabe resaltar que en este estudio únicamente las fincas 2, 4 y 5 presentaron emisiones de CO₂ por el uso de energía eléctrica debido a que las restantes utilizaron paneles solares (Tabla 17). Al respecto, la huella de carbono del panel solar es unas 20 veces menor que la emisión de carbono de las fuentes de electricidad (Cool Effect 2021). De esta forma, el uso de energías renovables, así como el uso reducido de combustibles en comparación con los sistemas intensivos, sustenta las pequeñas emisiones en la zona tropical peruana. Así lo indican Wang *et al.* (2021), quienes mencionan que incrementar el consumo de energías renovables como la energía proveniente del sol o del viento, entre otras, es fundamental para reducir las emisiones de CO₂ y lograr la neutralidad de carbono.

4.2.2 Huella de carbono según tipo de asignación: de masas y económica

Cuando se aplicó la asignación de masas, se determinó un factor de asignación (FA) de 0.95 para la producción lechera. En este aspecto, se observó que las emanaciones promedio de GEI fueron de 2.14 kg CO₂e por kg de leche corregida a grasa y proteína (LCGP), con valores que fluctuaron de 1.70 a 2.94 kg CO₂e/kg LCGP (Tabla 18). Se ha identificado que el metano resultado de la fermentación en el tracto entérico es el generador primario de GEI, con una cantidad de 1.71 kg CO₂e /kg LCGP, seguida por el manejo del estiércol con 0.20 kg CO₂e/kg LCGP, el manejo del suelo con 0,14 kg CO₂e kg/ LCGP y la energía/transporte con 0.05 kg CO₂e/kg LCGP (Tabla 18).

Tabla 18: Emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) según fuente de emisión, para asignación de masas y asignación económica en cada finca evaluada de la región San Martín

ASIGNACIÓN DE MASAS (kg CO ₂ e/kg LCGP ^a)							
FINCAS	CH ₄ entérico	CH ₄ estiércol	N ₂ O manejo estiércol	N ₂ O manejo suelo	CO ₂ combustible	CO ₂ energía	Huella de carbono
F1	1.47	0.04	0.18	0.10	0.03	0.00	1.82
F2	1.62	0.04	0.17	0.10	0.06	0.02	2.02
F3	2.37	0.06	0.26	0.17	0.07	0.00	2.94
F4	1.98	0.06	0.24	0.14	0.00	0.02	2.45
F5	1.39	0.04	0.14	0.09	0.05	0.01	1.73
F6	1.37	0.04	0.18	0.10	0.01	0.00	1.70
F7	1.43	0.04	0.24	0.15	0.03	0.00	1.88
F8	2.03	0.04	0.20	0.22	0.08	0.00	2.56
Promedio	1.71	0.05	0.20	0.14	0.04	0.01	2.14
Error estándar	0.132	0.004	0.015	0.015	0.010	0.004	0.161
ASIGNACIÓN ECONÓMICA (kg CO ₂ e/kg LCGP)							
F1	1.07	0.03	0.13	0.08	0.02	0.00	1.33
F2	0.94	0.02	0.10	0.06	0.04	0.01	1.18
F3	1.65	0.04	0.18	0.12	0.05	0.00	2.04
F4	1.33	0.04	0.16	0.10	0.00	0.01	1.65
F5	1.18	0.03	0.12	0.08	0.04	0.01	1.46
F6	1.05	0.03	0.14	0.08	0.01	0.00	1.31
F7	0.78	0.02	0.13	0.08	0.01	0.00	1.02
F8	1.37	0.03	0.14	0.14	0.05	0.00	1.72
Promedio	1.17	0.03	0.14	0.09	0.03	0.00	1.46
Error estándar	0.097	0.003	0.009	0.009	0.007	0.002	0.116

LCGP^a: Leche corregida a 4% de grasa y 3.5% de proteína; F1: Finca 1; F2: Finca 2; F3: Finca 3; F4: Finca 4; F5:

Finca 5; F6: Finca 6; F7: Finca 7; F8: Finca 8; CH₄: metano; N₂O: óxido nitroso; CO₂: dióxido de carbono.

En lo que respecta a la asignación económica, se observó que el factor de asignación (FA)

para la leche fue superior al FA para la carne (0.65 frente a 0.35). Los resultados obtenidos para la huella de carbono utilizando asignación económica revelaron un valor promedio de 1.46 ± 0.12 kg CO₂e/kg LCGP. Dentro de las emisiones, la emanación entérica fue la fuente más determinante, con una cantidad de 1.17 kg CO₂e/kg LCGP, seguida por el manejo del estiércol con 0.19 kg CO₂e/kg LCGP, el manejo del suelo con 0,09 kg CO₂e/kg LCGP y energía/transporte con 0.03 kg CO₂e/kg LCGP (Tabla 18).

En relación a estudios en sistemas silvopastoriles en Latinoamérica, según la asignación de masas, la huella de carbono promedio en este estudio fue de 2.14 kg de CO₂e/kg LCGP. Este resultado es superior a lo notificado por Rivera *et al.* (2014) en Colombia con su estudio en sistemas pastoriles e intensivos (1.61 y 1.76 kg CO₂e/kg LCGP, respectivamente). Así también, es mayor a lo encontrado por Rivera *et al.* (2016) para fincas lecheras de Colombia en sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) (2.05 kg CO₂e/kg LCGP), pero es inferior para sistemas convencionales (2.35 kg CO₂e/kg LCGP). Esta evidencia sugiere que los SSP constituyen una oportunidad factible para minimizar la necesidad de importar alimentos balanceados y fomentar el autoabastecimiento por ejemplo mediante el cultivo de bancos de proteínas, contribuyendo a aminorar la magnitud de emisiones de GEI (Pezo *et al.* 2019). Los estudios que demostraron una huella de carbono más reducida, fueron aquellos trabajos que se enfocaron en SSPi. Sin embargo, es importante señalar que en esta investigación las fincas sólo contaban con SSP, sin alcanzar el nivel de intensificación mencionado.

Además, el resultado de este estudio fue superior a lo encontrado en fincas lecheras de Costa Rica, donde se estimó un rango parcial de emisiones entre 0.38 y 1.02 kg CO₂e/kg LCGP (Wattiaux *et al.* 2016). A pesar de ello, es considerable destacar que el trabajo de Costa Rica exhibió un mayor número de vacas en ordeño y una producción promedio de leche superior en contraste con los hallazgos de esta investigación. Este hecho subraya la importancia de intensificar estos sistemas de producción láctea para administrar eficazmente las emanaciones de GEI.

De la misma manera, el resultado de este estudio (2.14 kg CO₂e/kg LCGP) es mayor a lo encontrado por Gómez (2018) en Colombia, un valor promedio de huella de carbono (HC) de 1.43 kg CO₂e/kg LCGP, basado en datos de 39 fincas lecheras. Así también, es mayor que lo reportado por Lizarralde *et al.* 2014, quienes observaron una HC media de 0.99 kg CO₂e/kg LCGP en 24 establecimientos lecheros de Uruguay. Asimismo, supera la cifra

encontrada por Gaitán *et al.* (2016), quien registro 1.7 kg CO₂e/kg leche producida para siete fincas lecheras de Nicaragua. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las fincas de esos estudios tenían diferentes prácticas de alimentación, manejo de pasturas, uso de maquinaria, y otros factores, lo que puede influir en la contabilidad de las emanaciones totales.

En cuanto a investigaciones en Europa, Estados Unidos y Oceanía, se observa que el resultado de la HC en este estudio (2.14 kg CO₂e/kg LCGP) es mayor que las emisiones reportadas en estudios anteriores realizados en Reino Unido, Nueva Zelanda, España y Estados Unidos. Los estudios mencionados incluyen investigaciones de Del Prado *et al.* (2013) en fincas de Reino Unido con pastoreo extendido (1.77 kg CO₂e/ kg LCGP) y con 195 días de pastoreo (1.07 kg CO₂e/ kg LCGP), Flysjö *et al.* (2011) en sistemas pastoriles en Nueva Zelanda, con un rango de 0.6 a 1.52 kg CO₂e/kg LCGP, Laca *et al.* (2019) con 0.69 kg CO₂e/kg LCGP, en sistemas basados en pastos en España, and O'Brien *et al.* (2014) en granjas lecheras en Irlanda, UK y los EE.UU con 0.82, 0.87 y 0.88 kg CO₂e/kg LCGP, respectivamente. No obstante, se encontró que los regímenes de producción lechera en Nueva Zelanda con un promedio de 15.69 kg/vaca/día y en Europa del Este y del Oeste con una media diaria de 19.60 kg/vaca, demuestran niveles de rendimiento lácteo más altos que las fincas evaluadas en esta investigación con una media de 10.00 kg por vaca al día. Esto resalta la importancia de que un aumento en la productividad por cabeza reduce la huella de carbono (FAO y GDP 2018; Salas 2020).

Con respecto a investigaciones realizadas en África y Asia, la huella de carbono según asignación de masas en este estudio fue menor a la hallado por Wilkes *et al.* (2020) para pequeñas fincas lecheras del centro de Kenia. En ese estudio, se encontró una intensidad de emisión de 2.56 kg CO₂e/kg LCGP, no obstante, los límites del sistema en ese trabajo incluyeron emisiones de procesos tanto dentro como fuera de la granja. Por otra parte, la huella de carbono de esta investigación fue superior a la encontrada en un estudio en pequeñas fincas lecheras de la India, donde estimaron una intensidad de emisión de 1.45 kg CO₂e/kg LCGP (Mech *et al.* 2023).

Respecto a la asignación económica, y a trabajos realizados en otros países, los resultados de este estudio (1.46 kg CO₂e/kg LCGP) muestran una huella de carbono semejante a la informada por Thomassen *et al.* (2008) en Países Bajos, quienes reportaron una huella de

carbono de 1.4 y 1.5 kg CO₂e/kg LCGP para sistemas convencionales y para sistemas orgánicos, respectivamente. Sin embargo, nuestros hallazgos resultaron más altos que los documentados por March *et al.* (2021) en su estudio en sistemas lecheros de Reino Unido donde las emisiones de HC fueron 0.95, 1.07, 1.15 y 1,16 kg CO₂e/kg LCGP, en 4 sistemas de alimentación diferentes: bajo nivel de pastura + forraje conservado + ración totalmente mezclada (LFS), sistema con subproductos (BPS), sistema convencional (pastura y forraje conservado + ración totalmente mezclada) (HFS) y sistema de cosecha propia (leguminosas + minerales + ración mixta total forrajera) (HGS), respectivamente.

Sin embargo, la huella de carbono (HC) según asignación económica en este trabajo (1.46 kg CO₂e/kg LCGP) fue inferior a la encontrada por González-Quintero *et al.* (2021) en Colombia, quienes reportaron una HC según asignación económica de 2.2 kg CO₂e/kg LCGP. No obstante, es sustancial indicar que las fincas analizadas en la investigación de González-Quintero *et al.* (2021) estaban dedicadas principalmente a la producción de carne. Además, es relevante mencionar que en otros países de Latinoamérica no hay muchos trabajos relacionados con la huella de carbono utilizando asignación económica, puesto que la mayoría utiliza la asignación biofísica y de masas o no hace uso de ningún tipo de asignación.

A pesar de que los sistemas ganaderos de San Martín incorporan muy pocos insumos externos, es decir, utilizan pocos fertilizantes y hacen uso limitado de maquinarias como tractores y otras máquinas de labranza, se observó que tienen cifras de huella de carbono más altas a las encontradas en otros trabajos de investigación llevados a cabo en Latinoamérica, Europa y Oceanía, como se ha detallado con anterioridad.

Al respecto, algunos aspectos que podrían esclarecer estos hallazgos son:

- A. La estructura poblacional del hato ganadero, ya que el total de emisiones de metano por fermentación entérica provocado por la ganadería en la finca es multiplicado por el factor de asignación y luego es dividido entre la producción total de leche, lo que significa que mientras menor es la cantidad de vacas que se encuentran en producción mayor será la huella de carbono.

Estudios sugieren que el grupo de vacas lactantes tendría que constituir aproximadamente

el 50% del total del hato (Menéndez *et al.* 2004; Morais *et al.* 2018). Aun cuando, los hallazgos de este trabajo muestran que, en promedio, las fincas ganaderas tenían 60.5% de vacas en ordeño respecto al total de vacas, un porcentaje superior al registrado por esos estudios, lo que supone un mejor manejo. Respecto a esto, un estudio realizado en fincas lecheras pastoriles en Portugal, reportó un promedio del 49.2% para vacas en producción (Morais *et al.* 2018). De igual manera, Menéndez *et al.* (2004), informaron en un estudio realizado en La Habana, Cuba, que, en promedio, un 49.5% de vacas en ordeño permitían una producción de 6.32 litros por vaca al día. (Menéndez *et al.* 2004). Además, Lizarralde *et al.* (2014) en un estudio llevado a cabo en Uruguay, descubrieron que las fincas con mejor desempeño fueron aquellas que presentaron una mayor cantidad de leche producida y una proporción más alta de vacas en lactancia con respecto al total del ganado, lo que condujo a una menor huella de carbono de la producción láctea.

- B.** La existencia de animales no productivos dentro del hato ganadero, como terneros destetados, toretes, vaquillas infértiles, vacas con alguna enfermedad o animales viejos, impacta negativamente en la producción total del rebaño, lo que a su vez incrementa la intensidad de carbono emitido. Al respecto, Gómez (2018) señala en un estudio realizado en Colombia, que mejorar los indicadores productivos, aumentar la proporción de vacas en fase de ordeño, reducir la tasa de sustitución, disminuir la edad al primer parto y acortar los intervalos entre partos, podría contribuir a la reducción de la HC asociada a la producción lechera. Además, según Knapp *et al.* (2014), es esencial gestionar de manera eficiente el período de vacas en fase de secado para permitir la involución y regeneración del tejido mamario, lo que puede resultar en una mejora de la producción de leche y en la disminución de la emisión de carbono.
- C.** La productividad por vaca por día, debido a que una mayor eficiencia por animal diluye el volumen de emanaciones de gases invernadero por litro de leche generado. Según los datos recolectados en esta investigación, la producción media por hato lechero fue de 10.00 kg LCGP por vaca al día, lo que indica un promedio superior a la región San Martín y a la producción lechera nacional (DRASAM 2016; MINAGRI, 2017). Una investigación reciente de Yagiüe *et al.* (2020) en España, demostró que la eficiencia de producción por vaca en la etapa de lactancia tiene un efecto significativo en torno a la huella de carbono de la leche, especialmente para fincas con pastoreo, donde se ha identificado una relación inversa entre el rendimiento y la emisión de carbono, es decir; a mayor eficiencia

productiva, menor huella de carbono. Esta información es respaldada por Knapp *et al.* (2014).

Por su parte, Capper y Caddy (2019) llevaron a cabo una investigación sobre la producción de leche de ganado en Estados Unidos durante el periodo de 2007 a 2017. En su estudio, los autores encontraron que mejorar la productividad animal, hacer los intervalos entre partos más cortos, periodos secos más cortos, así como mantener un conteo de células somáticas bajo, fueron factores que contribuyeron a aumentar la eficiencia. Del mismo modo, Hospers *et al.* (2022) informaron de una disminución del 35% en la huella de carbono (en CO₂ e/kg LCGP) en los Países Bajos entre 1990 y 2019, debido a mayores rendimientos de leche y forraje, así como a una mayor eficiencia alimenticia y una reducción en la aplicación de nitrógeno. Además, Mazetto *et al.* (2021) descubrieron que un aumento en la producción de leche por vaca contribuye de manera significativa a la reducción de la huella de carbono en algunos países desarrollados y emergentes, incluidos Costa Rica y Perú.

- D.** La digestibilidad del alimento, especialmente de la pastura en este estudio, es un factor crítico a considerar, ya que el consumo de alimentos con baja digestibilidad puede contribuir a la producción de ácido acético, lo cual a su vez promueve la producción de metano. Cabe destacar que esta investigación se efectuó en fincas que emplean regímenes de pastoreo extensivo, con la adición mínima de insumos externos como polvillo y concentrado.

La inclusión de alimentos ricos en fibra promueve la generación de ácido acético gracias a su contenido de carbohidratos estructurales (INTA 2014). Este ácido acético, considerado un ácido graso volátil (AGV), es fundamental para generar metano por parte de microorganismos metanogénicos presentes en la cavidad fermentativa (Corrales *et al.* 2015; Yamada *et al.* 2014). Por consiguiente, se sugiere la utilización adicional de algunos piensos como polvillo, afrecho de trigo, torta de soya y otros, ya que fomentan la producción de ácido propiónico, otro tipo de AGV que ayuda a bajar el número de hidrógenos en el rumen, reduciendo así la formación de metano (Relling y Mattioli 2014).

Es importante señalar que, hasta cierto nivel de intensificación, la incorporación de insumos externos en las fincas puede contribuir a minimizar la producción de metano y el

fortalecimiento de la eficacia ganadera. Algunos estudios sugieren que fincas dedicadas al pastoreo deberían considerar el aumento en el uso de alimentos externos para mejorar la proporción de AGV en el rumen, lo que resultaría en una disminución de las pérdidas energéticas asociadas con la producción de metano entérico (Relling y Mattioli 2014; Carro *et al.* 2019).

- E.** El manejo inadecuado del estiércol, debido a que esto puede tornarse en un aumento de las emisiones de metano y óxido nitroso durante su descomposición. Este estudio identificó al óxido nitroso como la segunda fuente principal de emisiones, principalmente derivadas del manejo inadecuado del estiércol en las fincas evaluadas, las cuales carecían de tecnologías de tratamiento como lagunas anaeróbicas, digestores anaeróbicos o compostaje. Según Pérez (2017), un método simple para manejar los desechos animales es esparcirlos en los campos después del pastoreo, lo que mejora la fertilidad del suelo y previene la acumulación de excrementos en el pasto. Asimismo, existen otros métodos de recolección, procesamiento y almacenamiento del estiércol acumulado en las instalaciones que pueden ser utilizados como fertilizantes o combustibles, pero requieren tratamiento previo para evitar la posible contaminación de aire, agua y/o suelo (Millner 2009; Pérez 2017).

- F.** La selección y el mejoramiento genético de los animales incluso puede mostrar un impacto significativo en la atenuación de emanaciones de metano en vacunos (Knapp *et al.* 2011). El proyecto Metalgen, llevado a cabo por Neiker y la Universidad Politécnica de Madrid en España, sugiere que, mediante la selectividad de genes y el adecuado suministro de piensos, es posible bajar hasta un 20% las emisiones entéricas en vacas lecheras en un lapso de diez años (Castilla y León 2021; Perulactea 2021). Los investigadores indican que la principal razón de este efecto es la presencia de microorganismos en el rumen que son menos eficientes en la digestión de los alimentos. Por lo tanto, reconocer estos microorganismos e intervenir en ellos mediante los productos alimentarios y la optimización genética puede ser clave para aminorar las emisiones de este gas (Perulactea 2021).

Tanto el Comité Nacional de Investigación (NRC 2001) como Lassen y Løvendahl (2016) destacan que la genética animal y la digestibilidad del pienso son elementos críticos que repercuten en la emisión entérica. Igualmente, se ha observado que el uso de inseminación

artificial para hacer cruzamientos que promuevan el crecimiento y la ganancia de masa muscular puede mejorar tanto el rendimiento cárnico y lechero, lo que conduce a la cría de animales que son más ventajosos desde la perspectiva económica (Marizancén Silva y Artunduaga Pimentel 2017).

- G.** Además, otros factores que pueden influir en la huella de carbono en los regímenes de producción lechera incluyen, el estrés por calor (Polsky y von Keyserlingk 2017), la clase de pasto tropical y las técnicas de gestión (Pezo 2017), la tasa de ingesta del producto alimenticio, el tipo de carbohidrato, la calidad y las especies forrajeras, el procesamiento físico, la conservación del forraje y la frecuencia de alimentación (Knapp *et al.* 2014).

4.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA SIMULACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORA GANADERA EN FINCAS DE LA REGIÓN SAN MARTÍN

A continuación, se detalla la evaluación económica y ambiental de dos estrategias propuestas para promover la sostenibilidad en la ganadería de fincas lecheras en la región San Martín. Estas estrategias se han diseñado tras realizar ejercicios de simulación:

4.3.1 Simulación de la implementación de arreglos silvopastoriles en callejones con Bolaina blanca (*Guazuma crinita* mart.), Capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y Brachiaria (*Brachiaria brizantha*) versus sistema pastoril con Brachiaria (*Brachiaria brizantha*) en la región San Martín

a) Análisis económico

Los resultados del componente productivo y económico para los escenarios pastoriles (A, B, C y D) versus sus homólogos silvopastoriles (A1, B1, C1 y D1) se describen en las Tablas 19 y 20 y 21.

En la Tabla 19, se puede apreciar que el desempeño productivo, en base al rendimiento lechero y la cantidad de animales vendidos, estuvo influenciada por el número de animales presentes en cada escenario. En los escenarios silvopastoriles, se estableció un número total inferior de unidades animal (UA) debido a la menor área disponible para pastoreo, la cual fue destinada para la plantación de árboles. Sin embargo, esta configuración permitió que los

sistemas silvopastoriles no sólo brinden beneficios fructíferos en cuanto a comercialización de leche y animales, sino que también proporcionen madera y secuestro de carbono adicional.

Como se muestra en la Tabla 19, el aumento de área destinada a la producción maderera, específicamente para la bolaina blanca y capirona, condujo a una reducción en la producción lechera para los escenarios A1, B1, C1 y D1. Esta disminución se atribuyó a la menor disponibilidad de tierras de pastura, lo que condujo a una disminución en el total de vacas en producción. De manera similar, la producción de carne también experimentó un impacto negativo en estos escenarios.

Como se contempla en la Tabla 19, los contextos silvopastoriles muestran un rendimiento productivo adicional gracias al rendimiento de madera y al secuestro de carbono. En particular, la combinación de bolaina blanca (*Guazuma crinita Mart.*) y capirona (*Calycophyllum spruceanum*) con la pastura brachiaria (*Brachiaria brizantha*) obtuvo resultados positivos. Este modelo ha sido implementado no sólo en San Martín, sino también en otras regiones de la Amazonía peruana durante algunos años. Algunos ejemplos incluyen la asociación del aguaje (*Mauritia flexuosa L.*) con el pasto camerún (*Pennisetum purpureum*) en terrenos humedecidos, el cedro rosado (*Cedrela fissilis*) con la *Brachiaria brizantha* en superficies áridas en colinas, capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y la bolaina (*Guazuma crinita Mart.*) en franjas con pasto camerún (*Pennisetum purpureum*), en superficies húmedas (Rios 2007). Además, existen experiencias agroforestales exitosas con plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*) en Huánuco (Pocomucha *et al.* 2016); el pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K.) y la centrosema (*Centrosema macrocarpum Benth.*) en la zona tropical húmeda peruana (Arévalo *et al.* 2003) y el uso de tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) en sociedad con capirona (*Calycophyllum spruceanum*), bolaina blanca (*Guazuma crinita Mart.*) y especies pastoriles anuales en Yurimaguas (Pashanasi *et al.* 2016).

Tabla 19: Descripción anual del componente productivo en cada una de las fincas ganaderas modeladas para la región San Martín

Salidas	Unidad	Escenarios							
		A	A1	B	B1	C	C1	D	D1
Leche	kg	30,035	28,123	60,070	59,057	75,087	73,119	901,044	871,800
Animales vendidos (terneros destetados)	#	100	90	190	170	250	210	300	260
Animales vendidos (excedentes)	#	20	10	50	40	60	50	60	50
Bolaina blanca	pt		49,352		98,703		123,379		148,055
Capirona	pt		56,549		113,098		141,372		169,646
Total secuestro de carbono de bosque (CO ₂)	t	497	497	912	912	1,160	1,160	1,409	1,409
Total secuestro de carbono de SSP(CO ₂)	t		299		598		747		897

A: Pastoril (10 ha), A1: Silvopastoril (10 ha), B: Pastoril (20 ha), B1: Silvopastoril (20 ha), C: Pastoril (25 ha), C1: Silvopastoril (25 ha), D: Pastoril (30 ha), D1: Silvopastoril (30 ha).

En esos estudios se informa que se alcanzaron favorables desempeños en cuanto al aumento de la riqueza del terreno, mejores rendimientos de las pasturas anuales e incremento de sus ingresos económicos familiares.

En cuanto al análisis económico, la Tabla 20 muestra que los escenarios SSP generaron una utilidad bruta mayor al contrastarlos con los contextos pastoriles. Los resultados indican que la inversión inicial en la mayoría de los pequeños propietarios con SSP se recupera en el séptimo año, una vez que comienzan a generar beneficios económicos por la venta de madera.

Tabla 20: Utilidad Bruta Anual (en soles) para cada una de las fincas ganaderas modeladas para la región San Martín

Escenarios	Utilidad Bruta (Soles)				
	AÑOS				
	1	2	3	4	5
A	16,647.6	16,647.6	16,647.6	16,647.6	16,647.6
A1	17,033.3	17,033.3	17,033.3	17,033.3	17,033.3
B	36,755.1	36,755.1	36,755.1	36,755.1	36,755.1
B1	38,475.2	38,475.2	38,475.2	38,475.2	38,475.2
C	52,314.4	52,314.4	52,314.4	52,314.4	52,314.4
C1	52,941.4	52,941.4	52,941.4	52,941.4	52,941.4
D	76,510.7	76,510.7	76,510.7	76,510.7	76,510.7
D1	70,055.7	70,055.7	70,055.7	70,055.7	70,055.7

Escenarios	Utilidad Bruta (Soles)				
	AÑOS				
	6	7	8	9	10
A	16,647.6	16,647.6	16,647.6	16,647.6	29,521.3
A1	17,033.3	51,679.4	17,033.3	17,033.3	65,426.3
B	36,755.1	36,755.1	36,755.1	36,755.1	61,057.1
B1	38,475.2	107,767.5	38,475.2	38,475.2	133,815.8
C	52,314.4	52,314.4	52,314.4	52,314.4	83,934.1
C1	52,941.4	139,556.8	52,941.4	52,941.4	173,359.3
D	76,510.7	76,510.7	76,510.7	76,510.7	117,610.3
D1	70,055.7	174,014.1	70,055.7	70,055.7	217,907.7

A: Pastoril (10 ha), A1: Silvopastoril (10 ha), B: Pastoril (20 ha), B1: Silvopastoril (20 ha), C: Pastoril (25 ha), C1: Silvopastoril (25 ha), D: Pastoril (30 ha), D1: Silvopastoril (30 ha).

Sin embargo, el periodo de recuperación puede extenderse hasta 15 años si se opta por implementar la especie capirona. A pesar de esto, este estudio confirma que los ganaderos pueden recuperar su inversión a mediano o largo plazo si deciden adoptar esta estrategia. Cabe resaltar que el costo de instalación por hectárea fue de aproximadamente S/ 5,316.5 para los escenarios SSP, lo que resultó en mayores retornos económicos en el séptimo y décimo año.

Estos hallazgos coinciden con los resultados de Ávila y Revolio (2012) en México, quienes indicaron que se requieren aproximadamente cinco años para que los SSP generen mayores ingresos económicos y sean más rentables que los sistemas tradicionales. De la misma manera, Lee *et al.* (2020) destacaron que, dependiendo de la intensidad de las prácticas empleadas y las especies arbóreas utilizadas, los propietarios podrían esperar obtener ganancias económicas de estos sistemas entre tres y cinco años, en fincas colombianas. Así también, otro estudio llevado a cabo en la Selva de Brasil se determinó que en dos regímenes de Agroforestería que incluían árboles frutales, los costos totales de implementación y operación se recuperaron en el transcurso de 20 años (Tremblay *et al.* 2015).

Adicionalmente, se ha identificado que los ingresos económicos derivados del comercio de troncos maderables constituyen la fuente más importante de recaudación en los escenarios SSP, seguidos por la venta de leche. No obstante, las ventajas comerciales generadas por la venta de especies forestales se logran después de 7 y 10 años desde la plantación de los árboles. Por lo tanto, la utilidad bruta más alta se observó en los escenarios silvopastoriles, principalmente el séptimo y décimo año (Tabla 20).

La venta de madera proveniente de especies de rápido crecimiento representa una fuente de ingresos relevante en la Amazonía peruana. Por ejemplo, los pequeños agricultores en la Región Ucayali, se benefician de los árboles de bolaina (*Guazuma crinita*) que crecen a lo largo de los ríos y áreas que han sido dejadas en barbecho durante varios años para recuperar su fertilidad. La madera de este árbol es altamente demandada para el revestimiento de viviendas de bajos recursos, lo que permite a los productores agregar valor a la madera y obtener beneficios económicos. Además, los agricultores pueden aumentar significativamente sus ingresos al vender tablones en lugar de madera en bruto. Esta actividad también genera empleo en la zona, ya que pequeños aserraderos ubicados en áreas

rurales se encargan de procesar la madera y brindar servicios a los agricultores (Fraser 2013). En países como Colombia, la mercantilización de tablonos producto de regímenes silvopastoriles representa una fuente significativa de beneficios económicos. Aun así, para incentivar la siembra de árboles en sistemas ganaderos, FINAGRO ofrece un subsidio del 75% para la siembra de especies nativas y del 50% para especies introducidas, lo que resulta atractivo y viable para los pequeños ganaderos (Forero 2009). Además, Sánchez (2017) destaca la importancia de aplicar buenas prácticas de manejo, como la poda adecuada y la colocación de cercas apropiadas para evitar perjuicios en el desarrollo de las plantas, lo que contribuye a agregar valor en la comercialización de los árboles.

En países como Costa Rica, los ganaderos tienen la oportunidad de generar ingresos adicionales mediante la venta de servicios ambientales en sistemas de producción específicos (Casasola 2009). De manera similar, en México, la Comisión Nacional Forestal impulsa proyectos con sistemas agroforestales que ofrecen pagos por servicios ambientales (PSA) al pequeño productor (Chagoya e Iglesias 2009). En el Perú, la ley MERESE 30215 norma y fiscaliza los instrumentos de compensación por servicios ambientales, los cuales precisan planes de preservación, restauración y utilización sustentable con el propósito de garantizar la continuidad de los ecosistemas (El Peruano 2023). Además, en nuestro país el Ministerio de Economía y Finanzas ha establecido un precio social del carbono (7.17 USD), que puede utilizarse en proyectos destinados a reducir las emisiones de GEI, expresadas en equivalentes de carbono (MEF 2016).

Con respecto a los indicadores económicos analizados, la tabla 21 muestra que todos los escenarios SSP presentaron un Valor Actual Neto Económico (VANE) positivo, con una tasa de descuento del 4%. Por otro lado, los sistemas pastoriles de 25 y 30 hectáreas alcanzaron un VANE positivo con una tasa de descuento del 8%. Además, el único escenario que obtuvo un positivo a la tasa comercial (13.7%) fue el escenario SSP de 30 ha (D1), mientras que los escenarios restantes presentaron un VANE negativo a esta misma tasa comercial. Estos resultados podrían ser explicados debido a la alta inversión inicial, que no se recupera en un período de 10 años, además de la poca atención de las entidades comerciales en financiar dichos emprendimientos para pequeños propietarios.

Tabla 21: Valor Actual Neto Económico (VANE), Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) y Relación Beneficio/Costo (BCR) de los sistemas pastoriles y silvopastoriles considerando diferentes tasas de descuento, en la región San Martín

Escenarios		VANE (S/.)			TIRE (%)	BCR (S/.)		
		4.0%	8.0%	13.7%		4.0%	8.0%	13.7%
A	Pastoril (10 ha)		-16,963.40	-82,631.10	5.48%		1.7	1.69
A1	Silvopastoril (10 ha)	161,646.90		-32,028.90	11.45%	1.81		1.72
B	Pastoril (20 ha)		-1,205.50	-134,802.10	5.98%		1.8	1.79
B1	Silvopastoril (20 ha)	358,155.90		-40,791.70	12.31%	1.91		1.83
C	Pastoril (25 ha)		46,899.20	-129,730.40	6.53%		2.02	2.01
C1	Silvopastoril (25 ha)	498,711.60		-10,584.40	13.42%	2.15		2.05
D	Pastoril (30 ha)		186,793.40	-34,284.50	12.17%		2.22	2.21
D1	Silvopastoril (30 ha)	662,054.00		34,988.60	14.56%	2.43		2.32

En Perú, algunos organismos financieros como la Corporación Financiera de Desarrollo (COFIDE) y el Banco Agropecuario (AGROBANCO) ofrecen préstamos bancarios, pero en muchas ocasiones estas propuestas no son atractivas para el pequeño productor. Por ejemplo, los créditos de corto y mediano plazo ofrecidos no suelen incluir plazo de no abonamiento y presentan tasas de impuestos anuales que oscilan entre 20% y 25% para capital circulante y entre 17% y 23% para activos no corrientes (AGROBANCO 2017). Además, la banca privada establece requisitos estrictos para la aprobación de créditos, como proporcionar un derecho de propiedad o garantías financieras, lo que dificulta que los agricultores puedan completar sus solicitudes (AGROBANCO 2020).

Uno de los resultados más destacados de la estrategia de implementación de SSP, es que a medida que aumenta el área destinada este fin, mejoran los resultados de los indicadores económicos. En este estudio, se observó que los SSP con 30 hectáreas alcanzaron un Valor Actual Neto (VAN) positivo en las dos tasas de descuento estimadas (4% y 13.7%). Estos valores se ajustan con los hallazgos de Chizmar *et al.* (2020) en una investigación sobre SSP en Amazonas, Perú, donde se encontraron altos rendimientos y un VAN positivo en comparación con los sistemas convencionales, obteniendo un 20% más de recaudación a una tasa de descuento del 4%. Sin embargo, un estudio de Ademar (2009) realizado en SSP en Argentina encontró un VAN negativo, no obstante, las tasas de descuento utilizadas en ese estudio fueron del 16.35% y 20%, mayores a las utilizadas en este estudio. Estos resultados resaltan la importancia de invertir en SSP en esta zona tropical del país, ya que este sistema presenta una mayor sostenibilidad económica, incluso en situaciones de factores nacionales adversos, como la inflación, la contracción del producto interno bruto o la mayor volatilidad en la rentabilidad promedio del mercado.

En cuanto a la Tasa Interna de Retorno (TIR), los regímenes silvopastoriles demostraron una TIR superior en comparación con los regímenes pastoriles (Tabla 21). Esto coincide con Braun *et al.* (2016), quienes afirmaron que los SSP generan ingresos más atractivos que los regímenes convencionales de explotación ganadera. Específicamente, la TIR fue de 11.12 % y 14.16 % para los escenarios SSP de 10 ha y 30 ha (A1 y D1), respectivamente (Tabla 21). Estos valores son consistentes con los encontrados en otros estudios realizados en el trópico. Enciso *et al.* (2019) reportaron que la incorporación de *Leucaena diversifolia* en SSP de Colombia generó una TIR de 21%. Asimismo, Rade *et al.* (2017) observaron una TIR de 17% y 18% en SSP de Ecuador, basados en la inserción de *Jatropha curcas L.* como

especie arbustiva y *Megathyrsus maximus* como especie herbácea. De la misma manera, Cueva-Reyes *et al.* (2020) encontraron una TIR económica de 30.4% para SSPi (*Leucaena leucocephala* en asociación con *Cynodon dactylon*) en México.

De la misma manera, en cuanto a la relación beneficio-costos (BCR), los escenarios SSP alcanzaron una BCR más alta en comparación con los sistemas de pastos cultivados (Tabla 21). Los resultados de este estudio para el escenario SSP de 30 ha son equivalentes a los de un trabajo de investigación anterior ejecutado por Chizmar *et al.* (2020) para un escenario SSP de 65 ha (BCR: 4 % = 2.54, 8% = 2.33, 12% = 2.12). Esta similitud se explica por la selección de especies arbóreas de rápido crecimiento y el número de vacas lactantes en ambos estudios. Sin embargo, la investigación actual consideró especies arbóreas maderables para obtener mayores beneficios económicos por la venta de madera, además, se estimaron datos asumiendo un hato de vacas en ordeño del 60%, en comparación con el 29% del estudio de Chizmar.

Finalmente, todos los escenarios mostraron un beneficio económico por la venta del carbono acumulado en los bosques. No obstante, se notó en tanto que se ampliaba el tamaño de la finca, también aumentaban los ingresos obtenidos por esta vía.

b) Análisis ambiental

b.1 Estimación de la emisión de metano entérico

La Tabla 22 muestra las cifras de la emisión promedio de metano entérico según las diferentes categorías evaluadas tanto para los escenarios pastoriles como silvopastoriles. Los datos muestran una diferencia de 9.6% entre los escenarios SSP versus los pastoriles para la categoría vacas en ordeño. Además, se identificó que, de las tres categorías evaluadas, la categoría “vacas en producción” registraron las emisiones más altas en comparación con las otras dos categorías.

Aunque en los escenarios SSP modelados se observó una ligera disminución de la proporción de vacas lactantes en comparación con los escenarios pastoriles, la producción fue más alta, lo que resultó en emisiones más bajas. Esto subraya la importancia de una gestión adecuada de la composición del hato ganadero, ya que un mayor número de vacas en lactancia y una mayor producción están asociados con una menor huella de carbono resultante (Ruiz-Llontop *et al.* 2022).

Los valores totales de emisión de metano entérico anual para cada escenario modelado se contemplan en la Tabla 23. Se encontró que los escenarios pastoriles tuvieron una emisión promedio de 5,424.2 kg CH₄ entérico al año, mientras que los escenarios silvopastoriles presentaron en promedio 4,230.6 kg CH₄ entérico anual. Estos hallazgos indican que los sistemas silvopastoriles son más eficientes, generando emisiones de metano más bajas en comparación con los sistemas basados únicamente en pasturas.

Tabla 22: Emisión de metano entérico (kg) por animal por año para escenarios pastoriles y silvopastoriles de fincas ganaderas en la región San Martín

Categoría	Número promedio de animales	Factor de emisión (Kg CH ₄ /animal/año)
Escenarios pastoriles (A-D)		
Vacas en ordeño	25.5	127.9
Vacas en seca	17.0	70
Terneros	25.5	38.1
Escenarios silvopastoriles (A1-D1)		
Vacas en ordeño	22.0	115.7
Vacas en seca	14.5	63.1
Terneros	22.0	35.1

En cuanto a la emisión total en CO₂e, los escenarios silvopastoriles presentaron un promedio de 118.5 toneladas, mientras que los escenarios pastoriles mostraron un promedio de 151.9 toneladas. Esto demuestra que las emisiones en los escenarios silvopastoriles son un 22% inferiores a las de los escenarios pastoriles. De aquí la importancia de la inclusión de diferentes arreglos silvopastoriles en la práctica ganadera.

Por consiguiente, resulta crucial diversificar las actividades agropecuarias mediante la integración de cultivos o, en este contexto, árboles que no sólo ofrecen beneficios económicos para los pequeños ganaderos, sino también ventajas ambientales. Los informes de Diverfarming (2020) resaltan la diversificación agrícola como un enfoque más robusto y sostenible.

Tabla 23: Emisión de metano entérico anual (en kg CH₄ y kg CO₂e) e intensidad de emisión para cada escenario pastoril y silvopastoril modelado en la región San Martín

ESCENARIOS	A	A1	B	B1	C	C1	D	D1
Emisiones kg de CH ₄ /escenario/año	2,552.5	1,948.8	5,105.1	4,048.3	6,381.4	4,991.2	7,657.6	5,934.0
Emisión total (kg de CO ₂ e/escenario/año)	71,471.2	54,566.1	142,942.4	113,352.5	178,678.1	139,752.6	214,413.7	166,152.6
Intensidad de emisión (kg CO ₂ e CH ₄ entérico/kg leche)	2.34	1.92	2.34	1.90	2.34	1.89	2.34	1.88

A: Pastoril (10 ha), A1: Silvopastoril (10 ha), B: Pastoril (20 ha), B1: Silvopastoril (20 ha), C: Pastoril (25 ha), C1: Silvopastoril (25 ha), D: Pastoril (30 ha), D1: Silvopastoril (30 ha).

Asimismo, Fortín y González (2022) señalan que, optar por la diversificación agrícola puede ser una opción provechosa tanto para el medio ambiente como para los pequeños productores. Al evitar depender únicamente de un solo cultivo, se puede reducir el impacto negativo asociado a los monocultivos en el ecosistema. Esta estrategia también tiene el potencial de elevar el valor de las propiedades rurales de los agricultores, al capacitarlos para enfrentar los vaivenes de los precios y al mismo tiempo abrir caminos hacia nuevas oportunidades de ingresos y empleo. Al mismo tiempo, la aplicación de la diversificación agrícola puede promover el bienestar de las comunidades y hogares de los agricultores, al consolidar la cohesión y eficacia de las unidades de producción.

Asimismo, como se puede apreciar en la Tabla 23, la intensidad de emisión estimada debido al metano entérico fue en promedio de 2.34 y 1.90 (kg de CO₂e CH₄ entérico/kg de leche) para los escenarios pastoriles y silvopastoriles, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los planteamientos de algunos investigadores, quienes señalan que uno de los beneficios ambientales asociados con la adopción de SSP es la capacidad de capturar y almacenar carbono atmosférico, así como minimizar la emisión entérica gracias a una mayor productividad animal (Crespo 2008; Murgueitio *et al.* 2013; Buitrago-Guillén *et al.* 2018). De todos modos, los resultados de la intensidad de emisión obtenidos en este estudio son más altos en comparación con investigaciones previas realizadas en Colombia, Costa Rica y Uruguay, países que han implementado estrategias silvopastoriles (Lizarralde *et al.* 2014; Rivera *et al.* 2014; Wattiaux *et al.* 2016).

b.2 Estimación del secuestro de carbono

La captura media anual de carbono por hectárea en cada escenario, tanto con el uso de SSP como sin ellos, se muestra en la Tabla 24. Se evidencia un aumento del 26.36% en la retención de carbono y los ingresos económicos en los escenarios que emplean SSP en comparación con exclusivamente pastoriles. Estos resultados sugieren que la adopción de prácticas silvopastoriles no sólo impacta positivamente en la retención de carbono por hectárea, sino que también presenta ventajas económicas.

Tabla 24: Secuestro de carbono promedio (t CO₂e) por hectárea por año en escenarios con sistemas silvopastoriles (SSP) y pastoriles para fincas de la región San Martín

Escenarios	Total t CO ₂ e/ha/año		Total t CO ₂ e/ha/escenario	Precio total (Soles)
	Árboles dispersos de bosque secundario	Sistema silvopastoril		
Pastoriles	82.86	0.00	82.86	2,295.36
Silvopastoriles	82.86	21.85	104.71	2,900.49

La captura de carbono acumulada en las fincas durante un plazo de 10 años, para los escenarios SSP de 10 ha y 30 ha (A1 y D1), fue de 796.3 y 2,305.9 toneladas de CO₂, respectivamente (Tabla 25). Estos resultados demuestran que la implementación de SSP a una escala más amplia conlleva beneficios ambientales potenciales. De esta manera, se puede observar en la Tabla 25 que la captura o secuestro de carbono aumenta con la integración de un mayor número árboles en la finca. Los resultados de la modelación indican que el escenario D1 tuvo la mayor captura de carbono.

Los resultados reportados en este trabajo no son valores únicos, estos valores de captura de carbono son variables, y según este estudio esto va a depender de algunos factores como, la edad de los árboles, el tipo de árbol y la densidad arbórea incorporados en los escenarios con SSP. En general, se descubrió al tiempo que se intensificaba el porcentaje de árboles plantados y su proporción en relación con el área total, también aumentaba la captura de carbono. Sin embargo, la presente investigación consideró escenarios con una baja densidad de árboles plantados (180 árboles por hectárea), lo que sugiere que un mayor porcentaje de SSP en las fincas podría garantizar un mayor almacenamiento de carbono, aunque esto puede afectar el crecimiento de la pastura debido a la sombra o al espacio ocupado por los árboles con respecto al pasto. Es importante analizar si la inversión en un mayor número de árboles podría ser financiada únicamente por el pequeño ganadero o si sería necesario la implementación de un proyecto de inversión.

Tabla 24: Secuestro de carbono total (t CO₂e) en cada escenario modelado para fincas de la región San Martín

Escenarios	Total t CO ₂ e		Total t CO ₂ e/escenario	Precio total (Soles)
	Árboles dispersos de bosque secundario	Sistema silvopastoril		
A	497.2	0.00	497.2	13,760.6
A1	497.2	299.12	796.3	22,039.1
B	911.5	0.00	911.5	25,227.8
B1	911.5	598.27	1509.8	41,785.6
C	1,160.1	0.00	1160.1	32,108.1
C1	1,160.1	747.28	1907.4	52,790.0
D	1,408.7	0.00	1408.7	38,988.4
D1	1,408.7	897.15	2305.9	63,818.1

A: Pastoril (10 ha), A1: Silvopastoril (10 ha), B: Pastoril (20 ha), B1: Silvopastoril (20 ha), C: Pastoril (25 ha), C1: Silvopastoril (25 ha), D: Pastoril (30 ha), D1: Silvopastoril (30 ha).

Es fundamental destacar que la estrategia propuesta también incluyó la evaluación del carbono almacenado en los árboles dispersos de los bosques secundario dentro de las fincas, tanto en los sistemas de pastoreo como en los silvopastoriles. Se observó que el valor de carbono almacenado en estos bosques era significativamente mayor que en los SSP, incluso cuando el tamaño promedio del bosque era menor en comparación con el área silvopastoril. Esto se debe a la alta densidad de especies arbóreas por hectárea en los bosques, lo que resalta la importancia de salvaguardar las partes forestales en las fincas ganaderas, por cuanto fomentan la protección forestal y la distribución de la tierra a través de la integración agrícola y la preservación de la biodiversidad (Fischer *et al.* 2008; Grau *et al.* 2013; Seto *et al.* 2012).

En cuanto a los árboles dispersos en bosques secundarios, se observó que los escenarios silvopastoriles de 30 ha mostraron mayores secuestros de carbono debido al área destinada para bosque (1.7 ha). El promedio de secuestro de carbono para todos los escenarios fue de 22.6 t C/ha/año, según información de fuentes primarias (Callo-Concha *et al.* 2002). Este valor está dentro de las cifras reportadas por Cueva-Reyes *et al.* (2020), quienes en un estudio en México evaluaron SSP intensivos durante 3 años, y encontraron que se logró secuestrar

entre 10 y 35.7 t de carbono por hectárea.

Los valores de secuestro anual para los escenarios SSP de 10 ha y 30 ha fueron de 21.37 y 21.88 t CO₂ por hectárea al año, individualmente. Estos valores son superiores a los comunicados por Mathios *et al.* (2019), que encontraron tasas de secuestro de carbono de hasta 10.07 t CO₂ ha/año en un hato ganadero del Alto Amazonas. Así también, estas cantidades son más altas que los valores determinados en otra investigación en esta misma región (San Martín), donde se registró un secuestro de CO₂ de 15.74 t de CO₂ por hectárea al año en plantaciones de Capirona (8 años de edad) (Gorbitz 2011). Sin embargo, estos resultados son más bajos que lo notificado por Cuartas *et al.* (2014) en México, quienes alcanzaron un secuestro anual de carbono de 26.6 t de CO₂ por hectárea en SPS intensivos. Asimismo, estos valores son menores que los resultados de otro estudio en Perú (Ucayali), donde el volumen de carbono acumulado en plantaciones de Bolaina blanca a los 4 años de edad fue de 26.2 t CO₂ por hectárea al año (Revilla 2015).

En países como Argentina, Ecuador, Brasil, Colombia, Costa Rica, Guatemala, México y Panamá, se han llevado a cabo iniciativas dirigidas a la implementación de SSP como parte de una estrategia para una ganadería sostenible y de bajo impacto en carbono. Estas iniciativas promueven el uso de SSP a través de diversos enfoques como proyectos, acciones, planes, programas, leyes y alianzas público-privadas. Su objetivo principal es fomentar prácticas ganaderas climáticamente inteligente con la intención de aminorar la liberación a la atmósfera de gases contaminantes y crear una ganadería resistente a las consecuencias negativas de las modificaciones climáticas (Suber *et al.* 2019).

4.3.2 Simulación del uso de bloques multinutricionales en fincas pastoriles de la región San Martín

a) Análisis económico

En la estrategia de implementación de bloques multinutricionales (BMN), se estimó que serían necesarios 397 gramos de BMN para lograr un aumento de 0.40 kg de leche por vaca por día (véase Tabla 26). Los hallazgos logrados en este trabajo se adecúan con lo reportado por Cardoza *et al.* (2008), que observaron un aumento de 0.41 kg leche por vaca por día, aunque la cantidad de BMN suplementada fue de 500g/vaca/día. Es relevante destacar que

otros estudios han indicado que el consumo diario de BMN puede variar según la especie. Por ejemplo, se ha informado que el consumo diario de BMN para ganado bovino y búfalos es de 500 a 800 g, respectivamente (FAO, 2007). En un estudio realizado en Argentina (Tachira), se observó que el aprovechamiento del BMN en hembras adultas lactantes mientras pastaban fue de 450 gramos por animal por día (Araujo-Febres 2005).

Los resultados de la modelación de la estrategia indican que se requiere la suplementación de 397 gramos de BMN para garantizar un auge del 4% en el rendimiento lácteo. Esta producción es mayor que la señalada por Godoy *et al.* (2020) en Perú, donde estimaron una mejora del 2.5% en la producción láctea al suplementar 346 gramos de BMN en su estudio realizado en la región San Martín. Sin embargo, este resultado está por debajo de lo informado por IAEA (2006), quien menciona en su estudio en 353 fincas, que la producción de leche incrementó entre un 6 y un 100%. Es importante destacar que ese estudio utilizó diferentes formulaciones de BMN (42 fórmulas diferentes) y las probó con diferentes especies animales.

Entre los insumos utilizados para la formulación del BMN se incluyeron, el polvillo de arroz, la melaza, el nielen, la pulpa de café, además de la adición de urea, vitaminas y minerales (Ver Tabla 9). Estudios similares realizados en la misma área han encontrado coherencia en el uso de algunos de estos insumos (Acuña 2020; Godoy *et al.* 2020). Sin embargo, las cantidades específicas de estos ingredientes pueden variar entre estudios. Tanto esos estudios como el presente trabajo de investigación resaltan la importancia del uso de insumos no tradicionales de la zona debido a su fácil disponibilidad y bajo costo.

Tabla 25: Contribución del bloque multinutricional (BMN) a la producción de leche en fincas pastoriles de la región San Martín

Mcal/kg BMN	Aporte del alimento Mcal /día	Déficit ENI (Requerimiento - Consumo), Mcal	Kg BMN para cubrir déficit	Kg leche/392 g bloque
1.09	16.52	0.43	0.394	0.40

ENI: Energía neta de lactancia.

Además, se pudo observar que, en la proyección de ingresos anuales, la finca obtuvo

principalmente ingresos por venta de leche (Tablas 27 y 28). Los resultados indican que el ingreso por la venta de leche fue un 3.45% mayor en el escenario que incluyó BMN en comparación con el escenario sin BMN. Este hallazgo subraya la importancia económica de incorporar bloques multinutricionales en la alimentación del ganado. En ese sentido, un estudio realizado por Araujo- Febres (2005) en Argentina, encontró que la suplementación de BMN en vacas adultas en fase de ordeño tuvo una repercusión satisfactoria sobre el rendimiento de leche, con mayores ventajas cuando la suplementación se realizaba durante la estación seca. Esto sugiere que la estrategia es efectiva para mejorar la rentabilidad de la producción lechera.

Asimismo, en las Tablas 27 y 28, se pueden apreciar los resultados de la tabla resumen de ganancias y pérdidas para el escenario con el uso de BMN y para el escenario sin su uso, respectivamente. Según los resultados, la utilidad bruta mensual para el ganadero es de S/ 7,999.29 en el escenario con BMN en comparación con S/. 7,871.30 para el escenario sin BMN, lo que representa una superioridad del 1.63%.

En cuanto al flujo de caja diferencial, se encontró que el escenario con BMN presentó un diferencial anual de S/. 1,535.9 respecto al escenario sin BMN (Tabla 29). Estos resultados enfatizan la importancia de la inclusión de BMN en la dieta del rebaño lechero. Además, cabe destacar que su implementación puede generar beneficios secundarios, como el confort del animal y la merma de enfermedades reproductivas y productivas, gracias a una alimentación más adecuada durante la estación seca o durante todo el año, lo cual impactará positivamente en el hato ganadero del productor.

Tabla 26: Estado de ganancias y pérdidas anuales sin la suplementación de bloques multinutricionales, en fincas pastoriles de la región San Martín

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INGRESOS	130,220	130,220	130,220	130,220	130,220
Leche (S/.)	112,420	112,420	112,420	112,420	112,420
Animales en pie (S/.)	17,800	17,800	17,800	17,800	17,800
COSTOS DE PRODUCCIÓN	35,764	35,764	35,764	35,764	35,764
UTILIDAD BRUTA	94,456	94,456	94,455.6	94,456	94,456
Descripción	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
INGRESOS	130,220	130,220	130,220	130,220	130,220
Leche (S/.)	112,420	112,420	112,420	112,420	112,420
Animales en pie (S/.)	17,800	17,800	17,800	17,800	17,800
COSTOS DE PRODUCCIÓN	35,764	35,764	35,764	35,764	35,764
UTILIDAD BRUTA	94,456	94,456	94,456	94,456	94,456

Tabla 27: Estado de ganancias y pérdidas anuales con la suplementación de bloques multinutricionales, en fincas pastoriles de la región San Martín

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INGRESOS	134,717	134,717	134,717	134,717	134,717
Leche (S/.)	116,917	116,917	116,917	116,917	116,917
Animales en pie (S/.)	17,800	17,800	17,800	17,800	17,800
COSTOS DE PRODUCCIÓN	38,725	38,725	38,725	38,725	38,725
UTILIDAD BRUTA	95,992	95,992	95,992	95,992	95,992
Descripción	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
INGRESOS	134,717	134,717	134,717	134,717	134,717
Leche (S/.)	116,917	116,917	116,917	116,917	116,917
Animales en pie (S/.)	17,800	17,800	17,800	17,800	17,800
COSTOS DE PRODUCCIÓN	38,725	38,725	38,725	38,725	38,725.3
UTILIDAD BRUTA	95,992	95,992	95,992	95,992	95,992

Tabla 28: Flujo de caja diferencial durante 10 años de evaluación para fincas pastoriles de la región San Martín

ESCENARIOS	ÍTEM	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
SIN BMN	UTILIDAD	94,455.6	94,455.6	94,455.6	94,455.6	94,455.6	94,455.6	94,455.6	94,455.6	94,455.6	94,455.6
CON BMN		95,991.5	95,991.5	95,991.5	95,991.5	95,991.5	95,991.5	95,991.5	95,991.5	95,991.5	95,991.5
DIFERENCIAL ENTRE ESCENARIOS		1,535.9	1,535.9	1,535.9	1,535.9	1,535.9	1,535.9	1,535.9	1,535.9	1,535.9	1,535.9

BMN: Bloque multinutricional.

El presente estudio ha evidenciado que el empleo de bloques multinutricionales puede incrementar notablemente el desempeño productivo lácteo (4%). Estos resultados concuerdan con investigaciones previas, como la realizada por Suharyono *et al.* (2014), quienes observaron un aumento de hasta el 4.3% en el rendimiento lechero y un incremento diario de peso de 0.30-0.38 kg por animal cuando se administraron 500 gramos de bloques multinutricionales con albendazol y torta de soya. Del mismo modo, Rodríguez-Molano y Pulido-Suárez (2017) encontraron que el uso de bloques multinutricionales con harina de maíz y molienda de tilo aumentó la materia seca y el contenido proteico, lo que sugiere que, es una alternativa beneficiosa para la ganadería bovina en áreas tropicales durante periodos de escasez. En un estudio realizado en Venezuela, Rodríguez *et al.* (2005) también observaron un incremento significativo en la producción de leche en hembras suplementadas con BMN en contraste con aquellas que no recibieron suplementación (6.67 y 4.76 kg/animal/día, respectivamente).

En cuanto al análisis económico, se determinó que el Valor Actual Neto Económico (VANE) fue satisfactorio a lo largo de los 10 años de evaluación, y aumentó a medida que se redujo la tasa de descuento considerada (Tabla 30). Esto sugiere que el aprovechamiento de BMN resulta una oportunidad rentable para los ganaderos, independientemente de la tasa de descuento evaluada (8% y 13.7%), tal como se muestra en la Tabla 30. Además, la Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE) fue de 22.39%, (Tabla 31), la cual es superior a ambas tasas de descuento, lo que indica que esta estrategia es rentable a largo plazo.

No obstante, es crucial tener en cuenta que la viabilidad del uso de bloques multinutricionales como una alternativa rentable está sujeta a ciertos factores. Por ejemplo, esta opción solo es eficaz si el productor elabora los BMN por sí mismo, ya que la contratación de personal externo podría incrementar los gastos de producción. Además, el bajo costo del BMN se debe a los cálculos realizados a nivel de finca; si el ganadero opta por adquirir los BMN de empresas especializadas en su producción, esto podría abaratar sus costos de producción, ya que estas empresas tienen mayores volúmenes de producción y, por ende, menores costos de inversión.

Tabla 29: Valor Actual Neto Económico con el uso de bloques multinutricionales durante 10 años de evaluación, para fincas pastoriles de la región San Martín

AÑO	FCE	Factor de descuento al 8%	Valor actualizado al 8%	Factor de descuento al 13.7%	Valor actualizado al 13.7%
1	1,535.9	0.93	1,422.1	0.88	1,350.8
2	1,535.9	0.86	1,316.8	0.77	1,188.0
3	1,535.9	0.79	1,219.2	0.68	1,044.9
4	1,535.9	0.74	1,128.9	0.60	919.0
5	1,535.9	0.68	1,045.3	0.53	808.3
6	1,535.9	0.63	967.9	0.46	710.9
7	1,535.9	0.58	896.2	0.41	625.2
8	1,535.9	0.54	829.8	0.36	549.9
9	1,535.9	0.50	768.3	0.31	483.6
10	1,535.9	0.46	711.4	0.28	425.3
Inversión total			4,751.4	4,751.4	
TOTAL (VANE)			S/5,554.3	S/3,354.5	

FCE: Flujo de caja económico; VANE: Valuar actual neto económico.

Tabla 30: Tasa Interna de Retorno Económico con el uso de bloques multinutricionales durante 10 años de evaluación, para fincas pastoriles de la región San Martín

TIRE %				
Diferencia de la tasa	Tasa de interés	Valor actual neto	Diferencia del valor actual neto	Cálculo de la TIRE
	13.70	3354.5		
5.7	TIRE	0	2199.8	0.1439 0.2239 22.39%
	8.00	5554.3		

TIRE: Tasa interna de retorno económica.

La relación Beneficio/Costo (BCR) analizada fue superior a 1, lo que indica que el uso de bloques multinutricionales (BMN) genera ganancias económicas. No obstante, cabe señalar que, esta relación fue calculada considerando una finca ya establecida, donde el único gasto de inversión fue la implementación del BMN (Tabla 32).

Tabla 31: Ratio Beneficio-Costo con el uso de bloques multinutricionales para fincas pastoriles de la región San Martín

BCR = Valores Actualizados (Ratio Beneficio/Costo)	8.0%	13.7%
Valor Actualizado Beneficio	30,173.9	23,733.1
Valor Actualizado Costo	19,868.2	15,627.2
BCR	1.519	1.519

b) Análisis ambiental

Los resultados de esta estrategia indican que el uso de BMN reduce la emisión de metano generado de la fermentación entérica, en un 3.09% en comparación con el escenario sin suplementación de BMN (Tabla 33). Aunque la diferencia es mínima, es importante tener en cuenta que este es un sistema simulado que no incluye el uso de árboles. Mientras la estrategia 1 abarca tanto el análisis de metano entérico como el aporte del secuestro de carbono a causa de la inclusión de sistemas silvopastoriles, la estrategia 2 se enfoca únicamente en el impacto del uso nutricional de la suplementación con BMN en un sistema pastoril, teniendo como fuente de alimento pasturas como *Brachiaria brizantha* y polvillo. Por lo tanto, la estrategia 2 sólo evaluó la emisión de metano entérico.

Como se aprecia en la Tabla 33, la categoría “vacas en ordeño”, presentó una emisión de 321.38 g y 317.27 g de metano entérico por vaca en ordeño por día, para el escenario sin uso de BMN y el escenario con suplementación de BMN, respectivamente. Estos valores están en línea con los hallazgos de Dona *et al.* (2013), quienes observaron que la influencia de la suplementación con bloques multinutricionales a base de urea-melaza (UMMB) en vacas en ordeño no mostró diferencia significativa en comparación con las vacas no suplementadas; sin embargo, hubo una diferencia numérica, donde la intensidad de emisión fue menor con la suplementación de UMMB. Este hallazgo concuerda con esta investigación, donde se identificó que la intensidad de emisión de metano entérico fue menor cuando se suplementó con BMN.

Los resultados de este trabajo reflejan que la intensidad de emisión se redujo en 18.8% cuando la digestibilidad in vitro de la materia seca del pienso (con BMN) fue más alta (1,94 kg CO₂e CH₄entérico/kg leche sin BMN versus 1.88 kg CO₂e CH₄entérico/kg leche con BMN). Por lo tanto, esta estrategia identificó que el aumento de la digestibilidad del alimento (*Brachiaria brizantha* + polvillo + BMN) es un factor importante para minimizar la magnitud de emanación de metano entérico por kg de leche producido (Ver Tabla 33). Por ejemplo, Alvarado-Bolovich *et al.* (2018) encontraron en su estudio en Perú que los pastos cultivados tenían una mayor digestibilidad comparado con los pastos naturales, lo que resultó en una producción más baja de metano por kilogramo de leche (68 g versus 24.06 g CH₄/kg de leche corregida a energía durante la temporada de lluvias, tanto para pasto natural como para pasto cultivado, respectivamente). Así también, Smith *et al.* (2022) en su análisis de distintos estudios, señalan que la digestibilidad, así como la composición de la dieta, influyen en la emisión entérica en rumiantes, provocando alteraciones en el proceso fermentativo a nivel ruminal.

Tabla 32: Análisis de la contribución ambiental del uso de bloques multinutricionales (BMN), en fincas pastoriles de la región San Martín

Escenario	Sin BMN	Con BMN
Alimento	Brachiaria + Polvillo	Brachiaria + Polvillo + Bloque
DIVMS-Ap. (%)	59.18	59.30
Aporte nutricional ENI (Mcal/kg MS)	0.991	0.996
Producción de leche	10.00	10.40
Emisiones CH ₄ entérico, g/vaca ordeño/día	321.38	317.27
Intensidad de emisión (kg CO ₂ e CH ₄ entérico/kg leche)	1.94	1.88

DIVMS-Ap: Digestibilidad in vitro de la materia seca aparente; ENI: Energía neta de lactancia; MS: Materia seca; CH₄: Metano; CO₂e: Dióxido de carbono equivalente.

Según la FAO (2007) en un estudio en India, la suplementación de BMN con paja de trigo, melaza y otros ingredientes mejoró la proporción asimilable de la fibra detergente ácida y,

aún más significativamente la digestibilidad de la fibra detergente neutra en forrajes con deficiente contenido nutricional. Además, se observó un incremento del 1.22% en la degradabilidad de la materia seca del alimento. De la misma manera, Araujo-Febres (2005) indica que los BMN pueden mejorar la digestibilidad aparente del extracto seco incluso en un 20% en forraje henificado con pobre contenido de nutrientes. Por otro lado, Vidya *et al.* (2020) evaluaron la adopción de esta tecnología entre productores lecheros de la India, destacando su bajo costo, su capacidad para proporcionar una buena fuente de nutrientes y su capacidad para potenciar la digestión de forrajes de deficiente calidad.

Finalmente, este estudio encontró que la intensidad de emisión entérica está inversamente relacionada con la producción de leche (Tabla 33). Este hallazgo está avalado por investigaciones previas, como la de Beltrán-Santoyo *et al.* (2016) en México, quienes informaron que mientras rendimiento lechero es mayor, la emanación de metano entérico y heces tiende a disminuir. De manera similar, Montenegro-Ballesteros *et al.* (2020) encontraron en su investigación en Costa Rica que las vacas más competentes emitían más metano, pero emanaron menos volumen de metano por litro de leche generado. Asimismo, Enriquez-Hidalgo *et al.* (2014) en su estudio en Irlanda, reportaron en sus resultados que mientras la producción de leche aumentó debido al tipo de alimento (pasto versus pasto + trébol blanco) la emisión de metano fue menor.

4.4 UNA GANADERÍA SOSTENIBLE: ENFOQUE HOLÍSTICO

La ganadería desempeña un papel fundamental en el desarrollo sostenible agropecuario, y recurriendo a la aplicación de óptimas prácticas, la industria podría disminuir sus repercusiones al ambiente y mejorar la eficiencia en el empleo de las riquezas (FAO 2023). En ese marco, una ganadería sostenible es aquella que es respetuosa con las reservas naturales y que no degrada el entorno, desarrollando prácticas óptimas que potencien la productividad sin comprometer los ecosistemas (Ceva 2023; Gob.mx. 2023).

Las tendencias actuales en la sostenibilidad ganadera, abordados en esta investigación, se enfocan en reducir la huella de carbono, incrementar el secuestro de carbono por parte del sistema, y aplicar estrategias que mejoren tanto la viabilidad económica como el impacto ambiental de la ganadería. En otras palabras, se evalúa estrategias que no sólo contribuyan a disminuir la liberación de carbono al ambiente, reduciendo así los impactos ambientales de

la ganadería en el medio ambiente, sino que también generen beneficios económicos a largo plazo para el pequeño ganadero.

En este contexto, los estudios realizados en esta investigación destacan que la estimación de la huella de carbono (HC) constituye la etapa inicial crucial para evaluar las emisiones de GEI ligadas a la ganadería en una región específica del Perú. El conocimiento de la HC de la producción lechera en estos sistemas permite el desarrollo de enfoques competentes y considerados con el ecosistema. Entre los planteamientos analizados se incluyen la implementación de sistemas silvopastoriles (SSP) y la suplementación con bloques multinutricionales (BMN).

Este trabajo revela que la emanación de metano entérico es la fuente decisiva de contribución de gases contaminantes en la ganadería. Evaluar estrategias orientadas a mejorar la alimentación del ganado, tales como el establecimiento de SSP y el uso de suplementos alimenticios como BMN no sólo reducirían la intensidad de emisión de metano entérico, sino que también mejorarían el rendimiento productivo del ganado. Este mejor desempeño se traduciría en mayores ingresos económicos para los pequeños productores, fomentando así una ganadería resiliente, rentable y sostenible que se adapta a las diversas condiciones de la ganadería actual y que mitiga el efecto desfavorable a la atmósfera al diversificar la actividad y fortalecer sus debilidades.

Además, este estudio confirma que la opción silvopastoril no solo disminuye las emisiones entéricas por unidad de producto, sino que también favorece al secuestro de CO₂ gracias a la presencia de componentes arbóreos, acercándose a la creación de un sistema carbono neutro, en el cual la ganadería y la agroforestería se complementan de manera positiva. Así también, se analiza que cuando se acrecienta el área de intervención con sistemas silvopastoriles, se incrementan los beneficios económicos y ambientales que estos sistemas ofrecen.

Por lo tanto, la adopción de enfoques holísticos y sostenibles es indispensable para lidiar con las problemáticas ambientales y nutricionales conectadas con la agricultura y ganadería. La integración de sistemas silvopastoriles (ganadería-árboles-pastura), junto con la evaluación de su huella de carbono y secuestro de carbono, combinada con la utilización de suplementos alimenticios sostenibles (como bloques multinutricionales), contribuirá de manera significativa a fomentar una cría de ganado más perdurable y ecologista. Este enfoque es

respaldado por Nieto (2018), quien, en un estudio realizado en Argentina, sugiere que, para mejorar la viabilidad y efectividad de las crianzas bovinas extensivas, las investigaciones futuras deben adoptar un enfoque integral que examine el componente ecológico de la sostenibilidad, considerando tanto los impactos negativos como los servicios ecosistémicos proporcionados, como cuidado de la diversidad biológica y la retención del carbono. También es respaldado por CATIE (2023), quien señala que estrategias sostenibles y holísticas, como la creación y aplicación de sistemas silvopastoriles, combinadas con la implantación de prácticas apropiadas en la gestión ganadera, han demostrado ser efectivas para mejorar el desempeño y la rentabilidad, generar beneficios al ecosistema, adaptarse al cambio climático y reducir la huella de carbono en comparación con los enfoques tradicionales en la ganadería.

V. CONCLUSIONES

1. La huella de carbono en fincas lecheras de la región San Martín, conforme la asignación de masas fue de 2.14 kg CO₂e/kg leche corregida a grasa y proteína (LCGP), y según la asignación económica se situó en 1.46 kg CO₂e/kg LCGP. Se identificó que la principal fuente de contribución de gases de efecto invernadero fue el metano entérico (79.9%), seguido del óxido nitroso por manejo del estiércol y suelos (15.7%).
2. Los escenarios silvopastoriles obtuvieron un Valor Actual Neto Económico (VANE) positivo y una Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) superior en comparación con los sistemas de pastoreo, respaldada por una utilidad bruta mayor. Además, es importante señalar que, el escenario con finca de mayor tamaño (30 ha) demostró la rentabilidad más alta en comparación con otros, subrayando la influencia del tamaño de la finca en los retornos económicos.
3. La implementación de sistemas silvopastoriles aportó notables beneficios ambientales, evidenciados por la reducción en la intensidad de emisiones de metano entérico (1.90 kg de CO₂e/kg de leche) en contraste con los sistemas pastoriles (2.34 kg de CO₂e/kg de leche), y, además; generó un impacto ambiental positivo adicional mediante el aumento del 26.36% de secuestro de carbono en estos escenarios. Este aspecto refuerza la propuesta integral de estos sistemas, que no sólo buscan la sostenibilidad económica sino también la sostenibilidad ambiental.
4. La utilización de bloques multinutricionales (BMN) tuvo un VANE positivo y una TIRE superior en comparación con el escenario sin uso de BMN, además de presentar una utilidad bruta mayor. Adicionalmente, la modelación con BMN redujo la intensidad de emisión de metano entérico en el escenario con el uso de BMN (1.88 kg CO₂e/kg leche) versus el escenario sin BMN (1.94 kg CO₂e/kg leche). Esto demuestra que esta estrategia contribuiría a la sostenibilidad económica y ambiental de pequeñas fincas de la región San Martín.

VI. RECOMENDACIONES

Este trabajo de investigación ha permitido establecer estrategias que pueden desempeñar un papel importante en la reducción de la huella de carbono en las diferentes fincas evaluadas en la región San Martín. Estas estrategias incluyen:

1. Promover prácticas de buen manejo ganadero que, además, de incrementar la productividad y los ingresos del pequeño ganadero, a su vez permitan reducir la intensidad de emisión. Las siguientes acciones son clave:
 - a) Mejorar el manejo de la estructura del hato ganadero mediante el incremento de la proporción de vacas en ordeño, con el objetivo de potenciar su eficiencia productiva y reproductiva.
 - b) Incrementar la digestibilidad de la dieta a través de la incorporación de insumos externos de alimentación, como maíz amarillo, afrecho de trigo, torta de soya, polvillo, y otros recursos disponibles en la zona. Este enfoque no convencional reduce la dependencia exclusiva de las pasturas como única fuente de alimento.
 - c) Fomentar activamente el uso de abonos orgánicos en las pasturas y la implementación de sistemas silvopastoriles. Estas prácticas buscan mejorar la calidad de la pastura y la disponibilidad de nutrientes (reciclaje de nutrientes) para el beneficio de los animales.
 - d) Implementar sistemas eficientes de manejo de estiércol mediante el uso de composteras y biodigestores anaeróbicos para optimizar el proceso y minimizar los impactos ambientales.
 - e) Seleccionar cuidadosamente los animales más productivos y con alto valor genético para su uso como reproductores. Retirar aquellos animales con características menos deseables. Además, realizar prácticas de cruzamientos guiadas por profesionales en el tema y hacer uso de la inseminación artificial como herramienta efectiva para mejorar la genética del hato.
2. Implementar alternativas de mejora, como la incorporación de áreas con sistemas silvopastoriles y el uso de suplementos adicionales (bloques multinutricionales),

especialmente durante la estación de escasez de alimento. Asimismo, se recomienda realizar un análisis económico exhaustivo de cada alternativa. Este análisis facilitará la toma de decisiones por parte del ganadero, considerando factores como el grado de inversión, la ambición del productor y la disponibilidad de recursos.

3. Además, se propone llevar a cabo un monitoreo constante de las fincas ganaderas, evaluando su huella de carbono una vez se implementen diferentes estrategias de mejora. Así también, se sugiere comparar los sistemas de fincas lecheras con fincas que adoptan sistemas mixtos de producción para identificar las mejores prácticas.
4. También, se recomienda fomentar que los hatos lecheros adquieran registros detallados para determinar índices productivos y reproductivos. Además, realizar un análisis económico actualizado de la producción permitirá a los ganaderos tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia y rentabilidad de sus operaciones.
5. Finalmente, se propone la implementación de prácticas sostenibles y amigables con el medio ambiente, como el uso de energías renovables mediante la instalación de paneles solares. Además, se propone diversificar la producción, explorando actividades adicionales como la plantación de árboles maderables, el cultivo de cacao, plátano u otros productos que no sólo generen mayores ingresos económicos, sino que también brinden estabilidad y sostenibilidad a la finca.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, A. 2020. Uso de bloques multinutricionales a base de sub productos locales, en etapa de recría de toretes Brown Swiss mestizo, bajo un sistema extensivo. Tesis Maestría. Amazonas, Perú, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2178>
- Ademar, L. 2009. Análisis económico financiero de un sistema silvopastoril. Tesis Maestría. Misiones, Argentina, Universidad Nacional de Misiones.
- Agencia Brasil. 2021. Brasil actualiza su plan de reducción de emisiones de carbono, accedido el 13 de diciembre de 2022, <https://agenciabrasil.ebc.com.br/es/politica/noticia/2021-10/brasil-actualiza-su-plan-de-reduccion-de-emisiones-de-carbono-abc>
- Aguilar, PC; Solorio, SF; Ku, VJ; Magaña, MJ; Santos, FJ. 2019. Producción de leche y carne en sistemas silvopastoriles. Bioagrociencias, 12, 1–8. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/viewFile/2911/1299>
- AGROBANCO (Banco Agropecuario). 2017. Tarifario de productos créditos directos (en línea, sitio web). Consultado 20 mar. 2021. Disponible en <https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/Tarifario-agrobanco.pdf>
- AGROBANCO (Banco Agropecuario). 2020. Crédito Agrícola, (en línea, sitio web). Consultado 13 nov. 2021. Disponible en <https://www.agrobanco.com.pe/credito/credito-agricola/>
- Alegre, J; Vega R; La Torre, B. 2012. Manual de manejo de suelos con sistemas silvopastoriles (en línea, sitio web). Consultado 28 mar. 2022. Disponible en [https://doi: 10.13140/RG.2.2.20163.30245.](https://doi: 10.13140/RG.2.2.20163.30245)

- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 45(2), 107-115. <http://www.redalyc.org/service/redalyc/downloadPdf/1930/193022245001/1+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe>
- Alpizar, M. 2022. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero y acciones de disminución en el sistema de producción bovina lechera “San José” (San Ramón de Alajuela). Tesis Maestría. Cartago, Costa Rica, Tecnológico de Costa Rica.
- Alvarado-Bolovich, V; Medrano, J; Haro, J; Gómez, C. 2018. Emisiones de metano entérico por ganadería lechera en zona altoandina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Universidad Nacional Agraria La Molina. 6 p.
- Alvarado-Bolovich, V; Medrano, J; Haro, J; Castro-Montoya, J; Dickhoefer, U; Gómez, C. 2021. Enteric methane emissions from lactating dairy cows grazing cultivated and native pastures in the high Andes of Peru. Livestock Science, 243. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104385>
- Amon, B; Kryvoruchko, V; Amon, T; Zechmeister-Boltenstern, S. 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. Agriculture Ecosystems & Environment, 112(2-3), 153-162. [https://doi: 10.1016/j.agee.2005.08.030](https://doi:10.1016/j.agee.2005.08.030).
- Andrade, R; Caro, Z; Porras, J. 2016. Efecto de la frecuencia de ordeño en la producción y comportamiento de vacas lecheras en lactancia. Revista Científica, 20 (1), 33-40. <https://www.redalyc.org/journal/959/95944832007/html/>
- Araujo-Febres, O. 2005. Los bloques multinutricionales: una estrategia para la época seca. Sitio Argentino de Producción Animal, Departamento de Zootecnia. Facultad de Agronomía. Universidad del Zulia Maracaibo. Venezuela.
- Arévalo, L; Alegre, J; Fasabi, R. 2003. Efecto del fósforo sobre el establecimiento del *Centrosema macrocarpum* Benth dentro de una plantación de pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K.) en un ultisol del trópico húmedo. Ecología Aplicada, 2(1), 93-97. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34120114>

- Argentina.gob.ar. 2021. Fortalecimiento y Desarrollo de los Territorios Productivos del Periurbano de la Región Metropolitana de Buenos Aires, el Gran Rosario y el Gran Córdoba (en línea, sitio web). Consultado 25 nov. 2022. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/noticias/fortalecimiento-y-desarrollo-de-los-territorios-productivos-del-periurbano-de-la-region>
- Austin, D; Urnes, P; Fierro, L. 1983. Spring Livestock grazing affect crested wheatgrass Regrowth and Winter use by Mule deer. *Journal of Range Management*, 36, 589-593.
- Ávila, S; Revolio, D. 2012. Análisis económico-financiero de un sistema silvopastoril: Estudios de caso en la Reserva de la Biosfera de Tuxlas, Veracruz, México (en línea, sitio web). Consultado 15 jul. 2021. Disponible en <http://www.biopasos.com/biblioteca/Silvopastoril%20Tuxtlas%20Veracruz.pdf>
- Ayala, R; Gamarra, J; Huaranga, D; Lázaro, R; Salas-Riega, C. Vásquez, R. 2020. Medición de metano entérico en bovinos lecheros alimentados con rye grass/trébol y alfalfa en la EEA Santa Ana – Huancayo en época lluviosa. Plataforma de Gestión del Conocimiento del INIA. Perú. <http://pgc-snia.inia.gob.pe:8080/jspui/cris/project/pj00209>
- Banco Agrario De Colombia. 2020. Crédito para sistemas silvopastoriles (en línea, sitio web). Consultado 10 jul. 2021. Disponible en <https://www.bancoagrario.gov.co/Paginas/silvopastoril.aspx>
- Bartl, K; Gómez, C; Nemecek, T. 2011. Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. *Journal of Cleaner Production*, 19(13), 1494-1505. [https://doi: 10.1016/j.jclepro.2011.04.010](https://doi:10.1016/j.jclepro.2011.04.010)
- Barrantes, R; Glave, M. 2014. Amazonía peruana y desarrollo económico. Lima, GRADE; IEP, 2014 (Estudios sobre Desigualdad, 8).
- Beer, J; Ibrahim, M; Somarriba, E; Barrance, A; Leakey, R. 2003. Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. Cordero, J; Boshier, DH; (Eds.). Árboles de Centroamérica: Un manual para extensionistas. Oxford, Reino Unido, OFI/CATIE, 197-242.

- Beltrán-Santoyo, M; Álvarez-Fuentes, G; Pinos-Rodríguez, J; Contreras-Servín, C. 2016. Emisión de metano en los sistemas de producción de leche bovina en el Valle de San Luis Potosí, México. *Agrociencia*, 50(3)
- https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405319520160003002
[97](#)
- Beltran, IE; Calvache, I; Cofre, R; Salazar, F; Keim, JP; Morales, A; Pulido, RG; Alfaro, M. 2022. Nitrogen Intake and Its Partition on Urine, Dung and Products of Dairy and Beef Cattle in Chile. *Agronomy*, 2022, 12, 15. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010015>
- Braun, A; Van, S; Grulke, M. 2016. Upscaling silvopastoral systems in South America. Inter-American Development Bank. Environment. Rural Development and Risk Management Division.
- <https://publications.iadb.org/es/publications/english/document/Upscaling-Silvopastoral-Systems-in-South-America.pdf>
- Bullard, SH; Straka, TJ. 2011. Basic concepts in forest valuation and investment analysis, 3rd ed.; Faculty Publications: Nacogdoches, TX, USA, 460p.
- <http://scholarworks.sfasu.edu/forestry/460>
- Buitrago-Guillén, M; Ospina-Daza, L; Narvaez-Solarte, W. 2018. Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Boletín Científico Museo de Historia Natural. Universidad Caldas*, 22 (1), 31-42.
- <https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.1.2>
- Caiza, V. 2021. Efecto del índice temperatura y humedad (ITH) en la productividad y eficiencia reproductiva en vacas lecheras. Tesis de grado. Guayaquil, Ecuador, Universidad Agraria del Ecuador.
- Callo-Concha, D; Krishnamurthy, L; Alegre, J. 2002. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8, 101–106. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62980202>

- Capper, J; Cady, R. 2019. The effects of improved performance in the U.S. dairy cattle industry on environmental impacts between 2007 and 2017. *Journal of Animal Science*, 2019, 1-4. <https://doi:10.1093/jas/skz291>
- Cardoza, C; Hernández, L; Gómez, M; Panameño, J; Corea, E; Leytón L. 2008. Evaluación de bloques multinutricionales en la alimentación de ganado doble propósito en ordeño. AGROCIENCIA. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. 12 p.
- Carranza, C; Ledesma, M. 2009. Bases para el manejo de Sistemas Silvopastoriles. In XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. p. 18-23. <https://ecaths1.s3.amazonaws.com/forrajicultura/ManejoSistemasSilvopastoriles.pdf>
- Carro, M; De Evan, T; Gonzáles, J. 2019. Emisiones de metano en los animales rumiantes: influencia de la dieta (en línea, sitio web). Consultado 25 nov. 2022. Disponible en https://oa.upm.es/54818/1/INVE_MEM_2018_296591.pdf
- Casasola, F; Ibrahim, M; Sepúlveda, C; Ríos, N; Tobar, D. 2009. Implementación de sistemas silvopastoriles y el pago de servicios ambientales en Esparza, Costa Rica: una herramienta para la adaptación al cambio climático en fincas ganaderas, p. 169-188. In Ibrahim M. y Sepúlveda C. (eds). Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. Centro Agronómico Tropical (CATIE). Turrialba, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10152/A3826e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castilla; León. 2021. La selección genética y la alimentación pueden reducir las emisiones de metano del vacuno lechero en 20% (en línea, sitio web). Consultado 21 jul. 2023. Disponible en <https://www.agronewscastillayleon.com/la-seleccion-genetica-y-la-alimentacion-pueden-reducir-las-emisiones-de-metano-del-vacuno-lechero-en>
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2023. Sistemas ganaderos resilientes (en línea, sitio web). Consultado 16 abr. 2022. Disponible en <https://www.catie.ac.cr/sistemas-ganaderos-resilientes/>

- CCAFS (Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security); Info Notes. 2015. Próximos pasos del NAMA Ganadería en Costa Rica. 5p.
- Cederberg, C; Stadig, M. 2003. System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. *International Journal Life Cycle Assessment*, 8, 350-356.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2012. IV Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadística e Informática – Cuadros estadísticos (en línea, sitio web). Consultado 18 mar. 2023. Disponible en <http://censos1.inei.gob.pe/Cenagro/redatam/>
- Cerri, CC; Moreira, CS; Alves, PA; Silva, G; De Almeida, CB; Mello, FFC; Cerri, DGP; Cerri, CEP. 2015. Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2593--2600. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.072>
- Ceva. 2023. La ganadería sostenible es posible (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2023. Disponible en <https://ruminants.ceva.pro/es/ganaderia-sostenible>
- Chagoya J; Iglesias, L. 2009. Esquema de pago por servicios ambientales de la Comisión Nacional Forestal, México (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2023. Disponible en <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10153/A3827e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chará, J; Reyes, E; Peri, P; Otte, J; Arce, E; Schneider, F. 2019. Silvopastoral systems and their contribution to improved resource use and sustainable development goals: evidence from Latin America. FAO, CIPAV and Agri Benchmark, Cali, p 60.
- Chará-Serna, A; Chará, J; Giraldo, L; Castaño-Quintana, K. 2023. Silvopastoral systems of Meso America and Northern South America. Chapter 5: Effect of Silvopastoral Systems on Biodiversity and the Provision of Environmental Services in Tropical Agro-Landscapes. pp 85-104. http://doi: 10.1007/978-3-031-43063-3_5
- Chizmar, S; Catillo M; Pizarro, D; Vasquez, H; Bernal, W; Rivera, R; Sills, E; Abt, R; Parajuli, R; Cabbage, F. 2020. A discount cash flow and capital budgeting analysis of

- silvopastoral systems in the Amazonas region of Peru. *Land*, 9:353.
<https://doi.org/10.3390/land9100353>
- Cool Effect. 2021. Carbon footprint of solar panel manufacturing (en línea, sitio web). Consultado 25 abr. 2023. Disponible en <https://www.cooleffect.org/solar-carbon-footprint>.
- Corrales, C; Antolinez, D; Bohórquez, J; Corredor, A. 2015. Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Revista Nova*, 13 (24).
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702015000200007
- Crespo, G. 2008. Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(4), 329-335. <http://www.redalyc.org/pdf/1930/193015490001.pdf>
- Cuartas, CA; Naranjo, JF; Tarazona, AM; Murgueitio, E; Chará, JD; Ku, J; Solorio, FJ; Flores, Mx; Solorio, B; Barahona, R. 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaption and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27, 76–94.
- Cueva-Reyes, V; Reyes, J; Borja, M; Loayza, A; Sánchez- Toledano, B; Moreno, T; Rosales, C. 2020. Evaluación financiera y económica de un sistema silvopastoril intensivo bajo riego. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11 (62).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.759>
- Darkwah, W; Odum, B; Addae, M; Koomson, A; Kwakye, B; Ewurabena, A; Asenso, T; Buanya, B. 2017. Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming. *Journal of Scientific Research & Reports*, 17(6),1-9.
<https://doi.0.9734/JSRR/2017/39630>
- Del Castillo, S. 2018. Captura de carbono en plantas forestales de 10 años de edad en el I.E.S.T.P. Nor Oriental de la selva, distrito de la banda del Shilcayo-provincia y región San Martín, agosto-octubre 2018. Tesis de grado. Huánuco, Perú, Universidad de Huánuco.

- Del Prado, A; Crosson, P; Olesen, JE; Rotz, CA. 2013. Whole- farm models to quantify greenhouse gas emissions and their potential use for linking climate change mitigation and adaptation in temperate grassland ruminant-based farming systems. *Animal*, 7, 373-3857. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000748>
- Diverfarming. 2020. Prácticas diverfarming: casos de estudio (en línea, sitio web). Consultado 20 mar. 2023. Disponible en <http://www.diverfarming.eu/index.php/es/practicadiverfarming>.
- Dona, RJ; Piyatilak, BW; Dinesh, DJ; Deshani, CM. 2013. Effects of supplementation of urea-molasses multinutrient block (UMMB) on the performance of dairy cows fed good quality forage based diets with rice straw as a night feeding. *CNU. Journal of Agricultural Science*, 40 (2), 123-129. <http://dx.doi.org/10.7744/cnujas.2013.40.2.123>
- DRASAM (Dirección Nacional de Agricultura San Martín). 2016. Diagnóstico de valor de la cadena de ganadería vacuno (en línea, sitio web). Consultado 25 jun. 2023. Disponible en <https://www.regionsanmartin.gob.pe/OriArc.pdf?id=86177>
- Echevarría, M; Pizarro, D; Gómez, C. 2019. Alimentación de ganadería en sistemas silvopastoriles de la Amazonia Peruana (en línea, sitio web). Consultado 15 jun. 2023. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/335542022>
- Ecoinvent. 2010. Ecoinvent database v 2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf (en línea, sitio web). Consultado 24 oct. 2023. Disponible en <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>
- El Peruano. 2023. Aprueban Reglamento de la Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (en línea, sitio web). Consultado 16 mar. 2023. Disponible en <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-reglamento-de-la-ley-n-30215-ley-de-mecanismos-de-decreto-supremo-n-009-2016-minam-1407244-4/>
- Enciso, K; Sotelo, M; Peters, M; Burkart, S. 2019. The inclusion of *Leucaena diversifolia* in a Colombian beef cattle production system: An economic perspective. *Tropical Grasslands*, 7, 359–369. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(7\)359-369](https://doi.org/10.17138/TGFT(7)359-369)

- Enriquez-Hidalgo, D; Gilliland, T; Deighton, Mh; O'donovan, Sm; Hennessy, D. 2014. Milk production and enteric methane emissions by dairy cows grazing fertilized perennial ryegrass pasture with or without inclusion of white clover. *Journal of Dairy Science*, 97, 1400–1412. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7034>
- Espinosa, P. 1996. Caracterización de los sistemas de producción agrícola de productores de maíz en la provincia de Bolívar en Ecuador. Tipificación de sistemas de producción agrícola RIMISP/GIA. Santiago de Chile, 1990.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007. Feed supplementation blocks: Urea-molasses multinutrient blocks: simple and effective feed supplement technology for ruminant agriculture. Rome, Italy. 252 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2014. Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: Recomendación de política. Editado por Salcedo S. y Guzmán L. Santiago, Chile. 486 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015. Estimating greenhouse gas emissions in agriculture: A manual to address data requirements for developing countries. Rome, Italy. 193 p.
- FAO/PNUD (Food and Agriculture Organization of the United Nations/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2017. Integrating Agriculture in National Adaptation Plans (NAP–Ag) Programme. Case Study: Uruguay. FAO, Rome, Italy.
- FAO (Food and Agriculture Organization); GDP (Global Warming Platform). 2018. Climate Change and the Global Dairy Cattle Sector - The role of the dairy sector in a low carbon future (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2023. Disponible en https://www.fao.org/publications/card/es/c/CA292_9EN/
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. Ganadería Climáticamente inteligente en Ecuador: una colaboración estratégica entre la empresa privada y la FAO (en línea, sitio web). Consultado 29 mar. 2023. Disponible en <https://www.fao.org/3/ca9462es/CA9462ES.pdf>

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023. Ganadería sostenible y cambio climático en América Latina y el Caribe (en línea, sitio web). Consultado 11 jun. 2023. Disponible en <https://www.fao.org/americas/prioridades/ganaderia-sostenible/es/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023. La ganadería y el medio ambiente (en línea, sitio web). Consultado 22 mar. 2023. Disponible en <https://www.fao.org/livestock-environment/es>
- Faverin, C. 2019. Modelación productiva, económica y de gases de efecto invernadero de sistemas de cría bovina de la Pampa Deprimida. Tesis Ph.D. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos). 2023. Ganadería Colombiana Sostenible (en línea, sitio web). Consultado 17 mar. 2023. Disponible en <https://www.fedegan.org.co/programas/ganaderia-colombiana-sostenible>
- Fernández, NE. 2008. Sistemas Silvopastoriles establecidos con *Pinus radiata*-productividad, biodiversidad y sumidero de carbono. Tesis Ph.D. Santiago de Compostela, España, Universidad de Santiago de Compostela.
- Fischer, J; Brosi, B; Daily, GC; Ehrlich, PR; Goldman, R; Goldstein, J. et al. 2008. Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 380– 385. <https://doi.org/10.1890/070019>
- Flores, L. 1992. Sistemas de Producción en el Alto Huallaga. XX Reunión Científica Anual APPA 1997. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. p. 154 – 157.
- Flores, E. 1993. Applying the concept of feeding stations to the behavior of cattle grazing variable amounts of available forage. Tesis Maestría. Logan, Utah, USA, Utah State University.
- Fluker, RS; Sánchez, V; Pérez, RJ. 2016. Captura de carbono en un sistema silvopastoril con aliso (*Alnus acuminata*): pasto, suelo y hojarasca en el distrito de Molinopampa, Amazonas. Tesis de grado. Amazonas, Perú, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

- Flysjö, A; Henriksson, M; Cederberg, C; Ledgard, S; Englund, JE. 2011. The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. *Agricultural Systems*, 104, 459-469.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.03.003>
- FONAM (National Environment Fund – Peru). 2009. Factor calculation model emissions in the Peruvian electric network year 2007. Lima, Peru.
- Forero, J. 2009. Inversiones alternativas, reforestación (en línea, sitio web). Consultado 05 abr. 2023. Disponible en http://www.dinero.com/inversionistas/inversiones-alternativas/reforestaciontan-buennegocio_65903.aspx
- Fortín, M; Gonzáles, M. 2022. Manual de capacitación 2: Diversificación productiva. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - San José, C.R.: IICA (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2023. Disponible en <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/20744/BVE22088367.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fraser, B. 2013. Agricultores en la Amazonía usan madera de rápido crecimiento para complementar sus ingresos (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2023. Disponible en <https://forestsnews.cifor.org/19338/pequenos-agricultores-en-la-amazonia-usan-madera-de-rapido-crecimiento-para-complementar-sus- ingresos?fnl=>
- Fuentes, E; Gómez, C; Pizarro, D; Alegre, J; Castillo, M; Vela, J; Huamán, E; Vásquez, H. 2022. A review of silvopastoral systems in the Peruvian Amazon region. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 10(2), 78–88
- GAIN Report USDA-FAS. 2021. Perú (en línea, sitio web). Consultado 28 jun. 2023. Disponible en <https://www.ocla.org.ar/noticias/21373354-peru-dic-21#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20promedio%20nacional%20es,de%20la%20eche%20del%20pa%C3%ADs.>

- Gaitán, L; Läderach, P; Graefe, S; Rao, I; van der Hoek, R. 2016. Climate-Smart Livestock Systems: An Assessment of Carbon Stocks and GHG Emissions in Nicaragua. PLoS ONE 11(12), e0167949. <https://doi:10.1371/journal.pone.0167949>
- Galindo, W; Murgueitio, E. 2004. Herramientas de manejo sostenible para la ganadería andina. Manejo Sostenible de los Sistemas Ganaderos Andinos. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV, Cali, Colombia, 19-56.
- Gallo, A. 2014. "A refresher on net present value." Harvard Business Review 19 (2014).
- García, A. 2009. Rentabilidad lechera 101: Calidad de la leche y eficiencia alimentaria. SDSU Extensión Extra Archives. 545. https://openprairie.sdstate.edu/extension_extra/545.
- García, LO; Restrepo, JIR. 1995. Manual de bloque de multnutrientes (en línea, sitio web). Consultado 25 ago. 2023. Disponible en <https://acortar.link/Vc5AwS>
- GBIF Secretariat. 2021. *Guazuma crinita* Mart. GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset, (en línea, sitio web). Consultado 23 mar. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.15468/39omei>
- Gerber, PJ; 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. 153. p.
- Girolando. 2012. Associação Brasileira dos Criadores de Girolando. Relatório de lactações encerradas, 2012 (en línea, sitio web). Consultado 29 abr. 2023. Disponible en <https://www.girolando.com.br/>
- Godoy, D; Fernández, M; Gómez, C; Hidalgo, V. 2019. Suplementación nutricional de vacunos en el trópico peruano. ResearchGate. Manual. Universidad Nacional Agraria La Molina. 25 p.

- Godoy, D; Puémape, F; Roque, R; Fernández, M; Vargas, J; Gamarra, S; Hildalgo, V; Gómez, C. 2020. Efecto de la suplementación de bloques multinutricionales con residuos agroindustriales en la producción y calidad de leche de vacas criollas al pastoreo en San Martín, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(4), e19029. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i4.19029>
- Goedkoop, M; Oele, M; Leijting, J; Ponsioen, T; Meijer, E. 2016. *Introduction to LCA with SimaPro*. California, USA. 129. p.
- Gómez, E. 2018. Impacto de las prácticas de manejo sobre la huella de carbono de la leche en los sistemas de producción bovina de la provincia de Ubaté. Tesis Maestría. Cundinamarca, Colombia, Universidad Nacional de Colombia.
- Gómez, C; Fuentes, E; Pizarro, D; Castillo, M; León-Velarde, CU. 2020. Agrosilvopastoril v 19.1: Modeling cattle production and environment contribution of silvopastoral systems in the Peruvian Tropics. 9th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food, and Environment (HAICTA, 2020), Thessaloniki, Grece, September 24-27, 2020. https://ceur-ws.org/Vol-2761/HAICTA_2020_paper52.pdf
- Gorbitz, G. 2011. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea en plantaciones de 8 años de *Calycophyllum spruceanum* b. en el Valle de Aguaytía. Tesis de grado. Lima, Peru, National University Agrarian La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1670>
- Grau, R; Kuemmerle, T; Macchi, L. 2013. Beyond land sparing vs. land sharing: Environmental heterogeneity, globalization and the balance between agriculture and nature conservation. *Current Opinion Environmental Sustainability*, 5, 477–483. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.06.001>
- GTM-NDC (Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas). 2018. Informe final del GTM-NDC. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/268719-informe-final-gtm-ndc>

- Gupta, SR; Dagar, JC; Mukesh-Kumar. 2016. Tree Plantations in Saline Environments: Ecosystem Services, Carbon Sequestration and Climate Change Mitigation. *Advances in Agroforestry*, 13: 181–195. https://doi:10.1007/978-81-322-2659-8_11
- Gutiérrez, E; Ayala, A. 2016. Buenas prácticas de alimentación: Elaboración y complementación estratégica con bloques multinutricionales de melaza-urea (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2023. Disponible en <http://www.iaaf.umich.mx/files/manuales/manual2.pdf>
- Hayes, A. 2022. Relación beneficio-costo (BCR): definición, fórmula y ejemplo (en línea, sitio web). Consultado 25 jul. 2023. Disponible en <https://www.investopedia.com/terms/b/bcr.asp>
- Hernández-González, O. 2021. Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 3 (3). <http://orcid.org/0000-0001-7230-9996>
- Heuzé, V; Tran, G; Sauvant, D; Lebas, F. 2016. Bread grass (*Brachiaria brizantha*). Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO (en línea, sitio web). Consultado 28 mar. 2023. Disponible en <https://www.feedipedia.org/node/490>
- Hospers, J; Kuling, L; Modernel, P; Lesschen, JP; Blonk, H; Battle-Bayer, L; Van Straalen, W; Dekker, S. 2022. The evolution of the carbon footprint of Dutch raw milk production between 1990 and 2019. *Journal of Cleaner Production*, 380 (1). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134863>
- Hristov, AN; Ott, T; Tricarico, J; Rotz, A; Waghorn, G; Adesogan, A; Dijkstra, J; Montes, F; Oh, J; Kebreab, E; Oosting, SJ; Gerber, PJ; Henderson, B; Makkar, HPS; Firkins, JL. 2013. Special topics—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91, 5095–5113. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6585>.
- Huanca, W. 2018. Cámara de comercio y la producción de Puno. Fortalecimiento de las Mipymes y Organizaciones empresariales regionales (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2023. Disponible en

https://www.perucamaras.org.pe/pdf/bv/48-Preparacion_Alimentos_Balanceados_Region_Puno.pdf

IAEA (International Atomic Energy Agency). 2006. Transferencia de tecnología: uso de bloques de multinutrientes de melaza de urea en más de 50 países (en línea, sitio web). Consultado 12 mar. 2023. Disponible en <https://www.iaea.org/resources/news-article/technology-transfer-use-of-urea-molasses-multinutrient-blocks-in-over-50-countries>

Ibrahim, M; Botero, J. 1997. Pasturas en callejones. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) (en línea, sitio web). Consultado 22 nov. 2022. Disponible en <http://www.fao.org/documents/card/es/c/cf5270ef-e17e-5ea5-a9ae-d38e2ce8670f/>

Ibrahim, M; Camargo, JC. 2001. Produtividade e serviços ambientais de sistemas silvipastoris: experiências do Catie. SISTEMAS AGROFLORESTAIS PECUÁRIOS: Opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 331-347 p.

Ibrahim, M; Guerra, L. 2006. Sistemas silvopastoriles y su importancia en carbono neutralidad de fincas ganaderas (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2021. Disponible en <https://docplayer.es/30115718-Sistemas-silvopastoriles-y-su-importancia-en-la-carbono-neutralidad-de-fincas-ganaderos.html>

Ibrahim, M; Mora, J; Rosales, M. 2006. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

IDERSAM (Infraestructura de Datos Espaciales del Gobierno Regional de San Martín). 2016. Mapa de Ecosistemas del Departamento de San Martín (en línea, sitio web). Consultado 25 oct. 2022. Disponible en <https://geo.regionsanmartin.gob.pe/geonetwork/srv/spa/catalog.search;jsessionid=62D3B4E295D01FF89487232700C58FCF#/metadata/9e7bd65b-c413-42a9-91d8-fcb0d324da7>

IDF (International Dairy Federation). 2015. A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology. Bulletin of

- the international dairy federation. https://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/09/Bulletin479-2015_A-common-carbon-footprint-approach-for-the-dairy-sector.CAT.pdf.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2013. Experiencias exitosas en bioeconomía. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Montevideo, Uruguay. 84. p. ISBN: 978-92-9248-490-3.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2014. The Outlook for Agriculture and Rural Development in the Americas: A Perspective on Latin America and the Caribbean. <http://repiica.iica.int/docs/b3166i/b3166i.pdf>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2016a. Escuelas de Campo, experiencias Rio Negro, Ecuador (en línea, sitio web). Consultado 21 mar. 2021. Disponible en <http://repositorio.iica.int/handle/11324/8412>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2016b. Establecimiento y uso de sistemas silvopastoriles en República Dominicana (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2021. Disponible en <https://www.biopasos.com/documentos/086.pdf>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2024. La ganadería sustentable de bajas emisiones, una solución al cambio climático: IICA. <https://iica.int/es/prensa/noticias/la-ganaderia-sustentable-de-bajas-emisiones-una-solucion-al-cambio-climatico-iica>
- Ilyas, HMA; Safa, M; Bailey, A; Rauf, S; Pangborn, M. 2019. The Carbon Footprint of Energy Consumption in Pastoral and Barn Dairy Farming Systems: A Case Study from Canterbury, New Zealand (en línea). Sustainability, 11(17), 4809. <https://doi.org/10.3390/su11174809>
- INDC (Intended Nationally Determined Contributions). 2015. Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de la República del Perú (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2022. Disponible en

[http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Peru/1/iNDC%20Per%C3%BA%20caste llano.pdf](http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Peru/1/iNDC%20Per%C3%BA%20caste%20llano.pdf).

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) 2007. Censo Nacional 2007: XI de Población y VI de Vivienda. In: INEI (ed.). Lima: INEI.

INEI. 2010. Departamento San Martín Compendio Estadístico 2010. (en línea, sitio web). Consultado 12 abr. 2023. Disponible en https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0973/libro.pdf

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2014. Nutrición Animal Aplicada. Área de Investigación en Producción Animal Grupo de Nutrición Animal INTA, EEA Balcarce. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_curso_nutricin_animal_aplicada_2014.pdf

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014: 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., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2018: Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la

pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Portner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Pean, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2019a. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Glossary. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/0_Overview/19R_V0_02_Glossary.pdf

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2019b. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter. 10. <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>

ISO (International Organization for Standardization). 2006a. Environmental Management - Life Cycle Assessment- Requirements and Guidelines. ISO 14044.

Jiménez-Trujillo, JA; Sepúlveda, C. 2012. Elaboración de bloques nutricionales (en línea, sitio web). Consultado 12 oct. 2021. Disponible en <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/files/original/6b4966fb54ce7b4497a3ea31b51a19ad.pdf>

Knapp, JR; Firkins, JL; Aldrich, J.M; Cady, RA; Hristov, AN; Weiss, WP; Wright, ADG; Welch, MD. 2011. Cow of the Future Research Priorities for Mitigating Enteric Methane Emissions from Dairy. Innovation Center for US Dairy. https://www.foxhollowllc.com/uploads/3/0/1/5/30151323/cof_white_paper_final.pdf

Knapp, JR; Laur, GL; Vadas, PA; Weiss, WP; Tricarico, JM. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions, Journal of Dairy Science, 97, 3231--3261. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>

Kristensen, T; Mogensen, L; Knudsen, MT; Hermansen, JE. 2010. Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach. Livestock Science, 140(1-3), 136-148. <https://doi:10.1016/j.livsci.2011.03.002>.

- Ku-Vera, J; Castelán-Ortega, O; Galindo-Maldonado, F; Arango, J; Chirinda, N; Jiménez-Ocampo, R; . . . Solorio-Sánchez, F. 2020. Revisión: Estrategias para la mitigación del metano entérico en forrajes tropicales alimentados con ganado. *Animal*, 14 (S3), S453- S463. <https://doi:10.1017/S1751731120001780>
- Laca, A; Gómez, N; Laca, A; Díaz, M. 2019. Overview on GHG emissions of raw milk production and a comparison of milk and cheese carbon footprints of two different systems from northern Spain. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 1650-1666. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06857-6>
- Lassen, J; Løvendahl, P. 2016. Heritability estimates for enteric methane emissions from Holstein cattle measured using noninvasive methods. *Journal of Dairy Science*, 99, 1959-1967. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10012>
- Lazzarini, B; Baudracco, J. 2019. ¿Ordenar 1 vez al día? (en línea, sitio web). Consultado 20 nov. 2023. Disponible en <https://www.infortambo.cl/es/contenidos/ordenar-1-vez-al-dia>
- Lee, S; Bonatti, M; Löhr, K; Palacios, V; Lana, MA; Sieber, S. 2020. Adoption potentials and barriers of silvopastoral systems in Colombia: Case of Cundinamarca región. *Cogent Environmental Science*, 6 (1), 1823632. <https://doi.org/10.1080/23311843.2020.1823632>
- Livas, F. 2019. Utilización de bloques nutricionales en el Trópico, (en línea, sitio web). Consultado 11 mar. 2022. Disponible en <https://bmeditores.mx/ganaderia/utilizacion-de-bloques-nutricionales-en-bovinos-en-el-tropico-2517/>
- Lizarralde, C; Picasso, V; Rotz, CA; Cadenazzi, M; Astigarraga, L. 2014. Practices to reduce milk carbon footprint on grazing dairy farms in southern Uruguay: Case studies. *Sustainable Agriculture Research*, 3, 2. <https://doi.org/10.5539/sar.v3n2p1>
- Llenderal, T. 2005. Sistemas silvopastoriles. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SA-. GARPA). México. 8 p.

- MAG-Costa Rica (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica). 2011. Bloques multinutricionales (en línea, sitio web). Consultado 25 ago. 2022. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/dr-brunca-boletin-inf-asa-neily-junio-2011.pdf>
- MAG-Costa Rica (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica). 2015. Estrategia 2015-2034 y Plan de Acción para la Ganadería Baja en Carbono en Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), San José, Costa Rica. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L01-11006.pdf>
- Mancera KF; Zarza, H; De Buen, LL; García, AAC; Palacios, FM; Galindo, F. 2018. Integrating links between tree coverage and cattle welfare in silvopastoral systems evaluation. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(2), 19. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0497-3>.
- March, MD; Hargreaves, PR; Sykes, AJ; Rees, RM. 2021. Effect of Nutritional Variation and LCA Methodology on the Carbon Footprint of Milk Production From Holstein Friesian Dairy Cows. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 588158. <http://doi.org/10.3389/fsufs.2021.588158>
- Marizancén Silva, MA; Artunduaga Pimentel, L. 2017. Genetic improvement in cattle through artificial insemination and artificial insemination at fixed time. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 247–259. <https://doi.org/10.22490/21456453.2050>
- Mata, L. 2016. Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales: Fuentes minerales (en línea, sitio web). Consultado 28 abr. 2021. Disponible en [https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/28814/FUENTES%20MINERAL ES.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/28814/FUENTES%20MINERAL%20ES.pdf?isAllowed=y&sequence=1)
- Mathios, M; Alegre, J; Aguilar, J; Celis, W. 2019. Reserva de carbono en hatos ganaderos y su relación ambiental socioeconómicos en la cuenca baja del río Shanusi Alto Amazonas Loreto–Perú. *Aporte Santiaguino* 12, 21–33. <https://doi.org/10.32911/as.2019.v12.n1.604>

- Mazetto A; Falconer, S; Ledgard, S. 2021. Mapping the carbon footprint of milk for dairy cows. DairyNZ and AgResearch Ltd. N. <https://ucanr.edu/sites/programteams/files/347129.pdf>
- Means, T; Lallanilla, M. 2021. Greenhouse gases: causes, sources and environmental effects. Livescience (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2023. Disponible en <https://www.livescience.com/37821-greenhouse-gases.html>
- Mech, A; Letha Devi, G; Sivaram, M; Sirohi, S; Dhali, A; Kolte, Ap; Malik, Pk; Veeranna, Rk; Niketha, L; Bhatta, R. 2023. Assessment of carbon footprint of milk production and identification of its major determinants in smallholder dairy farms in Karnataka, India. Journal of Dairy Science, 2023, ISSN 0022-0302. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22153>.
- MEF (Ministerio de Economía y Finanzas). 2011. Identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública Sector Agricultura (en línea, sitio web). Consultado 15 mar. 2023. Disponible en <https://www.mef.gob.pe>
- MEF (Ministerio de Economía y Finanzas). 2016. Anexo 03: Parámetros de evaluación social, (en línea, sitio web). Consultado 25 jul. 2021. Disponible en, https://www.mef.gob.pe/contenidos/archivos_descarga/anexo3_directiva002_2017EF6301.pdf
- Menéndez, A; Caunedo, J; Fernández, M. 2004. Relación entre el porcentaje de vacas en ordeño y la producción láctea total del rebaño. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 38 (4), 361-367 <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193017793003.pdf>
- MIDAGRI, (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). 2017. Plan de desarrollo ganadero (2017-2027). <http://hdl.handle.net/20.500.13036/330>
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). 2021. Boletín estadístico mensual “El Agro en cifras”. Mes: Diciembre 2020. 159 p. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/558835-boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras-2020>

- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). 2021. Anuario Estadístico de la Producción Ganadera y Avícola 2020. (C. León Hinojosa, Ed.) Lima, Perú: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - Midagri. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2803269/Compendio%20del%20anuario%20%22PRODUCCI%C3%93N%20GANADERA%20Y%20AV%C3%8DCOLA%22%202020.pdf>
- Mijail, A; Sotelo, M; Ramírez, F; Ramírez, I; López, A; Siria, I. 2005. Conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles de Matiguás y Río Blanco, Dpto. de Matagalpa, Nicaragua. In III Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes, I Congreso Internacional de Producción Animal Tropical (1, 2005, La Habana, Cuba).
- Millner, P. 2009. Gestión de estiércol. El problema de la contaminación de productos, agrícolas. 79–104. <https://doi:10.1016/b978-0-12-374186-8.00004-5>
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2013. IV Censo Nacional Agropecuario, (en línea, sitio web). Consultado 25 abr. 2023. Disponible en, <http://censos.inei.gob.pe/Cenagro/redatam/>
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2017. Plan Nacional de Desarrollo Ganadero 2017-2027. (en línea, sitio web). Consultado 12 ene. 2021. Disponible en, <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/dg-ganaderia/plan-nacional-ganadero-2017-2027.pdf>
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2019. Boletín estadístico mensual “El Agro en cifras” mes diciembre 2019 (en línea, sitio web). Consultado 21 mar. 2022. Disponible en <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/536471/boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras-dic19-130220.pdf>
- Molina, E; Victorero, E. 2015. La agricultura en países subdesarrollados. Particularidades de su financiamiento. La Habana. CLACSO. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Cuba/ciei-uh/20150908010537/Financiamientoagricultura.pdf>

- Montagnini, F; Ibrahim, M; Murgueitio, E. 2013. Silvopastoral systems and climate change mitigation in Latin America. *Bois et Forêts des Tropiques* 314, 3-16.
- Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; EIBL, B. 2015. Sistemas Agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie técnica. Informe técnico N° 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia, 454 p.
- Montenegro-Ballesteros, J; Barrantes-Guevara, E; Ivankovich-Cruz, S. 2020. Cuantificación de metano entérico según estado fisiológico en vacas lecheras de alta producción en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 44(1). <https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.40003>
- Morais, T; Teixeira, R; Rodrigues, N; Domingos, T. 2018. Carbon Footprint of Milk from Pasture-Based Dairy Farms in Azores, Portugal, *Sustainability*, 10, 3658. <https://doi.org/10.3390/su10103658>
- Moreira, MD. 2015. Sistematización de buenas prácticas de adaptación del Sector Agropecuario frente al cambio climático. Unión Europea. IICA-San José: C.R. IICA 2015. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3046/BVE17068958e.pdf?sequence=1>
- MoscOSO, JE; Franco, F; San Martín, F; Olazábal, J; Chino, L; Pinares-Patiño, C. 2017. Producción de Metano en Vacunos al Pastoreo Suplementados con Ensilado, Concentrado y Taninos en el Altiplano Peruano en É poca Seca. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(4): 822-833 <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v28i4.13887>
- Murgueitio, E; Chará, JD; Solarte, AJ; Uribe, F; Zapata, C; Rivera, JE. 2013. Agroforestería pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias (Colombian Journal of Animal Science and Veterinary Medicine)*, 26, 313-316.

- Murgueitio, E; Chará, J; Barahona, R; Cuartas, C; Naranjo, J. 2014. Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), 501-507.
- Murgueitio, E; Flores, M; Calle, Z; D.Chará, J; Barahona, R; Molina, C; Uribe, F. 2015. Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. 4, 59-102.
- Nieto, M. 2018. Gestión de los sistemas ganaderos extensivos bovinos basados en pastos naturales de San Luis (Argentina) y su incidencia en la emisión de gases de efecto invernadero (en línea, sitio web). Consultado 25 ene. 2022. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=257891>
- Noor, MM; Wandel, A; Yusaf, TF. 2013. The development of mild combustion open burner experimental setup. ICIMER 2013, Kuantan, Malaysia.
- Núñez-Ramos, PA; García-Lagombra, C; Caridad Del Rosario, J; Asencio-Cuello, VJ. 2021. Mediciones de óxido nitroso (N₂O) en suelo manejado bajo pastoreo con bovinos de leche. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-12. e813. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.813>
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Seventh Revised Edition. Washington, D.C.
- O'Brien, D; Capper, JL; Garnsworthy, PC; Grainger, C; Shalloo, L. 2014. Un estudio de caso sobre la huella de carbono de la leche proveniente de granjas lecheras de alto rendimiento basadas en confinamiento y pasto. *Revista de Ciencia Láctea*, 97 (3), 1835–1851. <http://doi:10.3168/jds.2013-7174>
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2019. Población (en línea, sitio web). Consultado 21 jul. 2021. Disponible en <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>
- Opio, C; Gerber, P; Mottet, A; Falcucci, A; Tempio, G; Macleod, M; Vellinga, T; Henderson, B; Steinfeld, H. 2013. Greenhouse gas emissions from ruminant supply

chains – A global life cycle assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Orihuela, J; Contreras, C. 2021. Amazonía en cifras: Recursos naturales, cambio climático y desigualdades (en línea, sitio web). Consultado 13 may. 2021. Disponible en https://files.pucp.education/departamento/economia/Amazonia-en-cifras_Jos%C3%A9-Carlos-Orihuela.pdf

Pagiola, S; Rios, A. 2013. Evaluation of the impact of Payments for environmental services on Land Use Change in Quindío, Colombia. Latin American and Caribbean Sustainable Development Department World Bank. Washington DC, USA.

Parera, M. 2009. Guía práctica 6: Evaluación económica (en línea, sitio web). Consultado 15 mar. 2022. Disponible en https://ivalua.cat/sites/default/files/2020-01/19_03_2010_13_29_51_Guia6_Economica_diciembre2009_revfeb2010_massavermella.pdf

Pashanasi, B; Vásquez, M; Díaz, W; Alegre, J. 2016. Sistema agrosilvicultural del tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) en asociación con capirona (*Callycophyllum spruceanum*), bolaina (*Guazuma crinita*) y cultivos duraderos en la zona de Yurimaguas. [https://www.semanticscholar.org/paper/Sistema-agrosilvicultural-del-tornillo-\(Cedrelinga-Amasifu%C3%A9-Nautino/126554dd1ad86db564d599fa592038745ea8383a](https://www.semanticscholar.org/paper/Sistema-agrosilvicultural-del-tornillo-(Cedrelinga-Amasifu%C3%A9-Nautino/126554dd1ad86db564d599fa592038745ea8383a)

Pérez, E. 2017. Manual de manejo sistemas intensivos sostenibles de ganadería lechera. San José, C.R. : INTA. 58 p. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L01-10927.pdf>

Perulactea. 2012. Girolando: Una mirada al ganado lechero tropical (en línea, sitio web). Consultado 11 mar. 2023. Disponible en <https://perulactea.com/girolando-una-mirada-al-ganado-lechero-tropical/>

Perulactea. 2021. Factores Claves para reducir Gas metano a un 20%: Genética y Alimentación (en línea, sitio web). Consultado 25 jun. 2021. Disponible en <http://www.perulactea.com/2021/03/18/factores-claves-para-reducir-gas-metano-a-un-20-genetica-y-alimentacion/>

- Pezo, D; Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles, una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. In Pastoreo intensivo en las zonas tropicales. I Foro Internacional (7 al 9 de noviembre). FIRA/Banco de México. Veracruz, México. 35 p.
- Pezo, D. 2017. Tecnologías forrajeras para la intensificación de sistemas ganaderos en el contexto del cambio climático. Revista UTN 78:18-25.
- Pezo, D; Ríos, N; Ibrahim, M; Gómez, M. 2019. Silvopastoral systems for intensifying cattle production and enhancing forest cover: The case of Costa Rica. https://www.profor.info/sites/profor.info/files/Silvopastoral%20systems_Case%20Study_LEAVES_2018.pdf
- Phetteplace, HW; Johnson, DE; Seidl, AF. 2001. Greenhouse gas emissions from simulated beef and dairy livestock systems in the United States. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 60, 99-102.
- Pineda, O. 2018. La raza Girolando, una alternativa para producir leche en clima tropical (en línea, sitio web). Consultado 18 mar. 2023. Disponible en <https://ganaderiasos.com/wp-content/uploads/2018/01/LA-RAZA-GIROLANDO-UNA-ALTERNATIVA-PARA-PRODUCIR-LECHE-EN-CLIMA-TROPICAL-.pdf>
- Pintos, R. 2021. Sistemas silvopastoriles: una opción interesante, vigente y apropiada, accedido el (en línea, sitio web). Consultado 20 dic. 2023. Disponible en, https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/192_2997.pdf
- Pizarro, D; Vásquez, H; Bernal, W; Fuentes, E; Alegre, J; Castillo, Ms; Gómez, C. 2019. Assessment of silvopasture systems in the northern Peruvian Amazon. Agroforestry Systems. <https://doi:10.1007/s10457-019-00381-9>.
- Pocomucha, V; Alegre, J; Abregú, L. 2016. Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huá Nuco. Ecología Aplicada, 15(2). <https://doi:10.21704/rea.v15i2.750>
- Polsky, L; Von Keyserlingk, MAG. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. Journal of Dairy Science, 100, 8645--8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>

- PRIMICIAS. 2023. Créditos verdes: cinco bancos financian proyectos sostenibles en Ecuador (en línea, sitio web). Consultado 26 mar. 2021. Disponible en <https://www.primicias.ec/noticias/economia/bancos-creditos-verdes-sostenibles-ecuador/>
- PTP (Programa de Transformación Productiva). 2018. PTP 2008-2018: Diez años de desarrollo productivo. Bogotá, Colombia (en línea, sitio web). Consultado 25 nov. 2023. Disponible en <https://www.colombiaproductiva.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=611b5ce6-82fd-47af-ba3f-6906dc2fb0ff>
- Puga, M. 2018. VAN y TIR. Universidad ARTURO PRAT del Estado de Chile (en línea, sitio web). Consultado 12 mar. 2021. Disponible en http://accioneduca.org/admin/archivos/clases/material/valor-actual-neto-y-tasa-interna-de-retorno-van-y-tir_1563977885.pdf
- Rade, D; Cañadas, Á; Zambrano, C; Molina, C; Ormarza, A; Wehenkel, C. 2017. Silvopastoral Systems Economical and Financial feasibility with *Jatropha curcas L.* in Manabí Ecuador. Revista MVZ Córdoba, 22, 6241–6255. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1129>
- Ramírez, N. 2020. “Rentabilidad económica y financiera de la producción lechera bajo dos sistemas de producción, Pucallpa, Perú”. Tesis Maestría. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Reátegui, F; Martínez, D. 2007. Forestal del departamento de San Martín. Proyecto de Zonificación Ecológica y Económica. Convenio entre el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana y el Gobierno Regional de San Martín. Iquitos-Perú.
- RCR (Red de Comunicación Regional). 2019. Desarrollo del ganado lechero Gyr en Perú (en línea, sitio web). Consultado 21 ene. 2023. Disponible en <https://www.rcrperu.com/desarrollo-del-ganado-lechero-gyr-en-peru/>

- Relling, A; Mattioli, G. 2014. Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Argentina, Universidad Nacional de la Plata. <https://ganaderiasos.com/wp-content/uploads/2014/08/fisiologia-digestiva-y-met-de-los-rumiantes.pdf>
- Revilla, J. 2015. Viabilidad económica de plantaciones demostrativas de Bolaina blanca (Guazuma crinita Mart.) en la cuenca del río Aguaytia Ucayali-Perú. Tesis Maestría. Lima, Peru, National University Agrarian La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2119>
- Rios, J. 2007. Enfoques integrales de producción ganadera en la Amazonía Peruana. XX Reunión ALPA. XXX Reunión APPA-Cusco-Perú. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal Vol. 15 (Supl. 1).
- Rivera, L; Armbrrecht, I; Calle, Z. 2013. Sylvopastoral systems an ant diversity conservation in a cattle-dominated landscape of the Colombian Andes. Agriculture Ecosystems and Environment, 181, 188–194.
- Rivera, JE; Arenas, FA; Rivera, R; Benavides, LM; Sánchez, J. 2014. Life cycle assessment in milk production: comparison of two specialized dairy herds, Livestock Research for Rural Development, 26, 1–9. https://www.researchgate.net/publication/281891695_Life_cycle_assessment_in_milk_production_Comparison_of_two_specialized_dairy_herds
- Rivera, J; Chará, J; Barahona, R. 2016. Análisis del ciclo de vida para la producción de leche bovina en un sistema silvopastoril intensivo y un sistema convencional en Colombia, Tropical and Subtropical Agroecosystems, 19, 273--251.
- Rivera, J; Peri, P; Chará, J; Díaz, M; Colcombet, L; Murgueitio, E. 2019. X Congreso internacional de sistemas silvopastoriles para una producción sostenible: Libro de Actas. Asunción, Paraguay. https://cipav.org.co/wp-content/uploads/2021/09/X_Congreso_Internacional_Silvopastoril.pdf
- Robiglio, V; Reyes, M; Castro, E. 2015. Diagnóstico de los productores familiares en la Amazonía Peruana. ICRAF Oficina Regional para América Latina, Lima, Perú. Por encargo de GGGI & DIE.

<https://www.worldagroforestry.org/sites/default/files/outputs/Diagnostico-de-los-productores-familiares-en-la-Amazonia-peruana-.compressed.pdf>

Rodríguez, J; Marcano, Y; Salazar, L. 2005. Efecto de la suplementación con bloques multinutricionales a base de *Eichhornia crassipes* sobre la producción de leche de vacas de la raza cebú x criollo. PASTOS, XXXV (2), 179-189.

Rodríguez-Molano, C; Pulido-Suárez, N. 2017. Determination of the nutritional value of blocks with different inclusion percentages of *Sambucus peruviana* and *Zea mays*. Ciencia y Agricultura, 15 (1). <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7760>

Rosemberg, M. 2000. Producción de ganado vacuno de carne y de doble propósito. 1º Edición. Lima-Perú.

Rosemberg, M. 2016. La ganadería bovina en el Perú. Universidad Científica del Sur, (en línea, sitio web). Consultado 25 mar. 2023. Disponible en <https://docplayer.es/19239776-La-ganaderia-bovina-en-el-peru.html>

Rosemberg, M. 2018. La ganadería bovina en Perú: Análisis exhaustivo de la ganadería bovina y la industria láctea de Perú. Propone diversas alternativas a los diferentes problemas que surgen según el modelo actual. Universidad Científica del Sur. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/la-ganaderia-bovina-en-peru/>

Rosemberg, M. 2019. Genotipo bovino en sistemas silvopastoriles en el trópico peruano. Universidad Científica del Sur. Simposio Internacional Ganadería y Sistemas Silvopastoriles. San Martín. Perú.

Ruiz-Llontop, D; Velarde-Guillén, J; Fuentes, E; Prudencio, M; Gómez, C. 2022. Milk carbon footprint of silvopastoral dairy systems in the Northern Peruvian Amazon. Tropical Animal Health and Production, (2022) 54, 227. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03224-5>.

Salas, D. 2020. Producción de leche en Nueva Zelanda (en línea, sitio web). Consultado 16 jul. 2021. Disponible en https://proyectosperuanos.com/produccion_leche_nueva_zelanda/.

- Salas-Riega, C; Osorio, S; Del Pilar, J; Alvarado-Bolovich, V; Osorio, C; Gómez, C. 2021. Enteric methane emission by Lactating and Dry cows in rye grass-clover pasture in the high Andean zone of Peru. *Tropical Animal Health and Production*. 26, 54(2):144. [https://doi: 10.1007/s11250-022-03146-2](https://doi:10.1007/s11250-022-03146-2)
- Sánchez, A. 2010. Parámetros reproductivos de bovinos en regiones tropicales de México. Thesis. Universidad Veracruzana. México. 48 p.
- Sánchez, J. 2017. Beneficios de la integración de árboles maderables en sistemas ganaderos convencionales. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. 43 p. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/ddfcc534-fe5c-4d1a-9133-271a2b41e5a2/content>
- SBS (Superintendencia de banca, seguros y AFP). 2020. Tasa de interés promedio del sistema bancario, accedido el 17 de diciembre de 2022, <https://www.sbs.gob.pe/app/pp/EstadisticasSAEEPPortal/Paginas/TIActivaTipoCreditoEmpresa.aspx?tip=B>
- Schettini, BLS; Jacovine, LAG; De Oliveira NETO, SN; Torres, CMME; Da Rocha, SJSS; Villanova, PH; ... Rufino, MPMX. 2021. Silvopastoral systems: how to use them for carbon neutral milk production? *Carbon Management*, 12(4), 377–384. <https://doi:10.1080/17583004.2021.1951843>
- Schoeneberger, M; Bentrup, G; Toral, PW. 2017. Agroforestry: Enhancing resiliency in US Agricultural Landscapes under changing conditions. Washington D.C. U.S.A. United States Department of Agriculture (USDA). Gen. Tech. Report WO-96.
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre). 2019. ¿Cómo se realiza el despacho, transporte y comercialización de madera? Guía N° 4. Ministerio de Agricultura y Riego. Perú. <http://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/723/5/SERFOR%202019%20MFC%20GUIA%2004%20-2019.pdf>
- Seto, Kc; Reenberg, A; Boone, CG; Fragkias, M; Haase, D; Langanke, T; Marcotullio, P; Munroe, DK; Olah, B; Simon, D. 2012. Urban land teleconnections and sustainability.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109, 7687–7692. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117622109>

Shively, G. 2012. An Overview of Benefit-Cost Analysis. ResearchGate, (en línea, sitio web). Consultado 18 abr. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/255661807_An_Overview_of_Benefit_Cost_Analysis

Smith, PE; Kelly, AK; Kenny, DA; Waters, SM. 2022. Enteric methane research and mitigation strategies for pastoral-based beef cattle production systems. *Frontiers in Veterinary Science*. 9:958340. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.958340>

Solé, R. 2011. Técnicas de evaluación de flujos de inversión: mitos y realidades. *Ciencias Económicas*, 29 (1), 423-441. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/economicas/article/view/7051/6736>

Souza de Abreu, MH. 2002. Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. *CATIE*. Turrialba. Costa Rica. P.166.

Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales M; De Haan C. 2009. *La larga sombra del Ganado: problemas ambientales y opciones*. FAO. Roma. Italia.

Suber, M; Gutiérrez Beltrán, N; Torres, Cf; Turriago, Jd; Arango, J; Banegas, Nr; Berndt, A; Bidó, Di. M; Burghi, V; Cárdenas B. Da; Cañanda, P; Canu, Fa; Chacón, Ar; Chacón Navarro, M; Chará, J; Diaz, L; Huamán Fuertes, E; Espinoza Bran, Je; Girón Muñoz, Pr; Guerrero, Y.; Gutierrez Solis, JF; Pezo, D; Prieto Palacios, G; Romancuesta, Rm; Rosales Riveiro, Ka; Rueda Arana, C; Sepúlveda L, Cl; Serrano Basto, G; Solarte, A; Woo Poquioma, N. 2019. *Mitigación con Sistemas Silvopastoriles en Latinoamérica. Aportes para la incorporación en los sistemas de Medición Reporte y Verificación bajo la CMUNCC*. CCAFS Working Paper no. 254. Wageningen, The Netherlands. www.ccafs.cgiar.org

- Suharyono; Sutanto, H; Purwanti, Y; Martanti; Agus, A; Utomo, R. 2014. The Effect of Urea Molasses Multi-Nutrient and Medicated Block for Beef Cattle, Beef and Dairy Cow. *Atom Indonesia*, 40(2), 77 – 87.
- Surraco, C. 2021. Se comenzó a Implementar un Proyecto para fortalecer la agricultura periurbana en Comodoro, Caleta Olivia y Sarmiento.
<https://inta.gob.ar/noticias/se-comenzo-a-implementar-un-proyecto-para-fortalecer-la-agricultura-periurbana-en-comodoro-caleta-olivia-y-sarmiento>
- Thomassen, MA; Van Calker, KJ; Smits, MCJ; Iepema, GL; M. De Boer, IJ. 2008. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural Systems*, 96:95–107. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.06.001>
- Torres, CMME; Jacovine, LAG; Nolasco De Olivera Neto, S; Fraisse, CW; SOARES, CPB; De Castro Neto, F; ... Lemes, PG. 2017. Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. *Scientific Reports*, 7(1).
<https://doi:10.1038/s41598-017-16821-4>
- Tremblay, S; Lucotte, M; Revéret, J; Davidson, R; Mertens, F; Passos, CJS; Romaña, CA. 2015. Agroforestry systems as a profitable alternative to slash and burn practices in small-scale agriculture of the Brazilian Amazon. *Agroforestry System*, 2015, 89, 193–204. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9753-y>
- Vásquez, L. 2009. Caracterización de cinco fundos ganaderos en la zona de la carretera Yurimaguas-Munichis. Tesis de grado. Yurimaguas, Perú, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Vázquez, R. 2020. Análisis coste/beneficio (en línea, sitio web). Consultado 14 mar. 2022. Disponible en <https://economipedia.com/definiciones/analisis-costebeneficio.html>
- Vidya, N; Verma, HK; Jaswinder, S. 2020. Awareness and Adoption of Urea-Molasses Multi Nutrient Block (UMMB) technology in field situations of Punjab, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(1).
<https://www.ijcmas.com/9-1-2020/Vidya%20Nimbalkar,%20et%20al.pdf>

Villanueva, C; Casasola, F; Detlefsen, G. 2018. Potencial de los sistemas silvopastoriles en la mitigación al cambio climático y en la generación de múltiples beneficios en fincas ganaderas de Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba. Costa Rica.

http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8729/Potencial_de_los_sistemas_silvopastoriles.pdf?sequence=7&isAllowed=y

Villanueva C. 2022. Análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero en fincas productoras de leche de Costa Rica. Tesis Ph. D. Santiago de Compostela, España, Universidad de Santiago de Compostela.

Vistoso, E; Salazar, F; Gonzáles, S. 2015. Estimación de la huella de carbono para la producción de leche en zona sur de Chile. XXXVIII Congreso Sociedad Chilena de Producción Animal (SOCHIPA). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación Remehue (INIA Remehue), Casilla 24-O, Osorno, Chile.

Wang, F; Damascene, J; Yuan, Z; Wang, M; Wang, F; LI, S; ... Chen, J. 2021. Technologies and perspectives for achieving carbon neutrality. The Innovation. Volume 2. Issue 4. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100180>.

Warnecke, S; Paulsen, HM; Schulz, F; Rahmann, G. 2014. Greenhouse gas emissions from enteric fermentation and manure on organic and conventional dairy farms: an analysis based on farm network data. Organic Agriculture, 4(4), 285-293. <https://doi.org/10.1007/s13165-014-0080-4>.

Wattiaux, MA; Ñamagua-Uyaguari, JP; Guerra, L; Casasola, F; Jenet, A. 2016. Feeding and fertilization practices and greenhouse gas emissions in specialized dairy farms of Dos Pinos in Costa Rica, Tropical Grassland-Forrajes Tropicales, 4, 146e158. [https://doi.org/10.17138/tgft\(4\)146-158](https://doi.org/10.17138/tgft(4)146-158)

Wilkes, A; Wassie, S; Odhong', C; Fraval, S; Van Dijk, S. 2020. Variación en la huella de carbono de la producción de leche en pequeñas granjas lecheras en el centro de Kenia. Revista de Producción Más Limpia, 265, 121780. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121780>

- Xuan, B; Trong, H; Preston, TR. 1991. Bloques multinutricionales (MUB) como suplemento para vacas lecheras alimentadas con forrajes de bajo valor nutritivo en el sur de Vietnam. Investigación ganadera para el desarrollo rural, 3 (2) 1991. <http://www.lrrd.org/lrrd3/2/an.htm>
- Yagüe, J; Calvet, S; Ibáñez, N; Estellés, F. 2020. Análisis de la Huella de Carbono de explotaciones de Vacuno de Leche en España. CONAMA 2020. Congreso Nacional del Medio Ambiente. 12 p.
- Yamada, C; Kato, S; Ueno, Y; Ishii, M; Igarashi, Y. 2014. Conductive iron oxides accelerate thermophilic methanogenesis from acetate and propionate. Journal of Bioscience and Bioengineering, ND (N.D), 1-5. <https://doi:10.1016/j.jbiosc.2014.11.001>
- Yan, R; Zhang, Y. 2022. The Introduction of NPV and IRR. Advances in Economics, Business and Management Research. Volume 648.
- Yepes, LA; Sarmiento, LF. 2016. Estudio de la apropiación de sistemas silvopastoriles en la producción de leche bovina en el contexto del agronegocio lácteo del sur del Atlántico, accedido el 16 de abril de 2022, https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_agronegocios/18

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Encuesta sobre huella de carbono y evaluación económica y ambiental de fincas en la región San Martín

HUELLA DE CARBONO

Encuesta N°: _____

Fecha: _____

Responsable: _____

1. Información básica

Nombre Completo: _____

Ubicación (Región/provincia/distrito): _____

Nombre de la Finca: _____ Altitud (m.s.n.m):

_____ Grados GPS:

N° de celular o teléfono: _____ Correo electrónico:

2. Producción agrícola

2.1 Manejo de pastos cultivados y/o nativos

	Área total [ha]	Para auto-consumo [ha]	Área alquilada de alguien [ha]	Área alquilada a alguien [ha]	Para venta [ha]
Cultivos agrícolas (maíz, plátano, café, cacao,)					
Bosque primario					
Árboles dispersos de bosque secundario					
Sistema Silvopastoril (SSP)					
Pastos cultivados (mejorados) (brachiaria spp., pennisetum purpureum cv. etc.)					
Pastos nativos					
Tierras en descanso					
Infraestructura: instalaciones					
Total					

Pastos cultivados y/o nativos	1		2		3		4		5	
Nombre del pasto (especificando si es cultivado (c) o nativo (n))										
Área de la pastura [ha]										
Tipo de riego (Goteo, aspersión, automático, microaspersión, etc)										
N° de cortes o cosechas por año										
Rend./corte o cosecha (t/ha o kg/m ²)										
Uso – Henificación	sí	no								
Uso - Ensilaje	sí	no								
Uso - Rastrojo	sí	no								
Uso - Autoconsumo	sí	no								
Uso - Venta	sí	no								

Cultivo agrícola anual y/o perenne	1		2		3		4		5	
Nombre del cultivo anual (a) y/o perenne (p)										
Área del cultivo [ha]										
Tipo de riego (Goteo, aspersión, automático, microaspersión, etc)										
N° de cortes o cosechas por año										
Rend./corte o cosecha (t/ha o kg/m ²)										
Uso – Henificación	sí	no								
Uso - Ensilaje	sí	no								
Uso - Rastrojo	sí	no								
Uso - Autoconsumo	sí	no								
Uso - Venta	sí	no								

Especies arbóreas (en SSP)	1		2		3		4		5	
Plantación forestal: Especie										
% árboles de esa especie en el Sistema Silvopastoril										
Orden de especie predominante										
Cantidad de área foliar ramoneada (%) si es el caso										
Tipo de arreglo silvopastoril										
Uso – Sombra	sí	no								
Uso - Fruto	sí	no								
Uso – Leña/madera	sí	no								
Uso – Forraje (Alimento)	sí	no								
Uso – Delimitar terreno	sí	no								
Uso - Venta	sí	no								

2.2 Fertilización y agroquímicos (para pastos cultivados y/o nativos)

<i>Nombre del agroquímico (fertilizante inorgánico,</i>	Área total de la finca donde se	[kg/ha/año] de agroquímico, abono orgánico				
		Nombre del pasto nativo y/o cultivado				
Fert inorgánico:						
F:						
F:						
Insecticida:						
I:						
Fungi:						
Fungi:						
Herbicida:						
Orgánico:						

(F: Fertilizante inorgánico; I: Insecticida; Fungi: Fungicida; H: Herbicida; O: Fertilizante orgánico)

3. Información pecuaria

3.1 Hato ganadero (Números de cabezas al momento de la encuesta)

Estructura del hato	Total	Razas				Edad	N° animales que murieron en el último año
		Criollo	Gyr* Holstein	Brown Swiss* Gyr	Yersey		
Vacas en producción							
Vacas secas							
Vaquillonas (preñadas por primera vez)							
Vaquillas (mayores a 18 meses aun no servidas)							
Terneras (destetadas)							
Terneras (lactantes)							
Terneros (destetados)							
Terneros (lactantes)							
Toretas							
Toros							

3.2 Producción de leche

Producción de leche total [kg/día]	
Autoconsumo de leche [kg/día] o %	
Venta de leche [kg/día] o %	
Duración de la lactancia (días)	

3.3 Alimentación

Pastoreo

Horas de pastoreo/día estación lluviosa (Ejm: 6 horas, salen 8 am y regresan 2 pm, luego salen en la tarde 4pm hasta 6pm):

Horas de pastoreo/día estación seca:

¿Duermen estabuladas?

Alimentación en estación lluviosa

	Concentrado/ Leche (terneros lactante)	[kg/día]	Sales minerales/sus tituto de leche	[kg/ día]	Forraje corte (Ejm: King grass)	[kg/ día]	Forraje conservad o [Heno (H) o Ensilado (E)]	[kg/día]
<i>Categoría animal</i>								
<i>propio [p], comprado [c]</i>								
Vacas en producción								
Vacas secas								
Vaquillonas								
Vaquillas								
Terneras destetadas								
Terneras lactantes								
Terneros destetados								
Terneros lactantes								
Toretos								
Toros								

¿Adiciona o resta algún alimento en la estación seca?

¿Alimenta de forma similar durante todo el año?

4. Maquinaria y Equipo (si no tiene dejar en blanco)

	Unidades	Cantidad de combustible usado/hora		Unidades	Consumo de Watts, combustible/hora
<i>Para suelo</i>			<i>Para alimento</i>		
Tractor (indicar potencia en hp)			Picadora de forraje		
			Mezcladora horizontal o vertical		
			Camión, camioneta		

	Unidades	Consumo de Watts, combustible/hora
<i>Para transporte</i>		
Motocicleta		
Camioneta		
Auto		

	Unidades	Consumo de Watts/hora	Nº de ordeños/día	Duración del ordeño (horas/día)
<i>Para vacunos</i>				
Ordeñadora mecánica				
Ordeño manual			1	

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL

1. Costos Fijos

<i>Ítems</i>	<i>Cantidad (#)</i>	<i>Costo (S/.)</i>	<i>Años de adquisición Edad (años)</i>
Terreno (ha)			
Electricidad (kWh) (costo mensual)			
Servicio de agua y desagüe (costo mensual)			
Maquinarias y equipos			
• Tractor			
• Ordeñadora mecánica			
• Picadora de forraje			
• Mezcladora de alimento			
• Vehículos de transporte (auto, camioneta, motocicleta, camión).			
Camioneta			
Motofurgoneta			
Motolineal			
Jeep			
Otro:			
Instalaciones			
• Sala de ordeño			
• Almacenes de alimentos			
• Corrales (con bebederos, comederos)			
• Brete/manga			
• Sanidad y manejo sanitario			
• Oficina (Administrador)			
• Vivienda			
Compra de Animales (Semovientes)			
• Animales de reemplazo			
• Terneros (as)			
• Vaquillas			
• Vaquillonas			
• Vacas			
• Toretes			
• Toros			

2. Costos Variables

Alimento concentrado y Agroquímicos

<i>Ítems</i>	<i>Peso del saco/ galón (kg, L)</i>	<i>Costo del saco/ galón (S/.)</i>	<i>Sacos o galones comprados/ año</i>	<i>Costo anual (S/.)</i>
<i>Alimento concentrado</i>				
• 1				
• 2				
<i>Agroquímicos y fertilizante orgánico</i>				
• Fertilizante inorgánico				
Úrea				
• Insecticida				
• Fungicida				
• Herbicida				
• Fertilizante orgánico				

Medicinas

<i>ítems</i>	<i>Capacidad del frasco (ml)</i>	<i>Costo del frasco (S/.)</i>	<i>Frascos comprados/año</i>	<i>Costo anual (S/.)</i>
<i>* Desparasitantes</i>				
<i>Ivermectina</i>				
<i>* Vacunas</i>				
<i>Carbunco</i>				
<i>Otra</i>				
<i>* Antibióticos</i>				
<i>Mastitis</i>				
<i>* Vitaminas</i>				
<i>ADE</i>				
<i>* Otras medicinas</i>				
<i>Óvulos (unidades)</i>				
<i>Oxitocina</i>				
<i>TOTAL</i>				

Combustible

<i>Ítems</i>	<i>Capacidad del galón (L)</i>	<i>Costo del galón (S/.)</i>	Galones comprados/ año	<i>Costo anual (S/.)</i>
• Gasolina				
• Petróleo				
• Diesel				
• Otro				

Servicios

<i>Ítems</i>	<i>Horas de trabajo/día</i>	<i>Pago por hora de trabajo (S/.)</i>	Horas trabajadas/ año	<i>Costo anual (S/.)</i>
Reparaciones (maquinarias, equipos)				
Inseminación artificial				
Servicio Veterinario (colocar vacunas, vitaminas, desparasitaciones, tratamiento de alguna enfermedad)				
Asistencia técnica				

Mano de obra

<i>Ítems</i>	<i>Horas de trabajo/día</i>	<i>Pago por hora de trabajo (S/.)</i>	Horas trabajadas/ mes	<i>Costo mensual (S/.)</i>
Empleado permanente				
Empleado estacional (meses)				
Familia del propietario				
Propietario				

Otros alimentos comprados

<i>Ítems</i>	<i>Kg /día</i>	<i>Costo (S./) / kg</i>	<i>Cantidad comprada (kg) / año</i>	<i>Costo anual (S./)</i>
Forrajes comprados				
• Fresco				
• Heno				
• Ensilaje				
Sales minerales				
Leche para terneros				
Sustitutos de la leche				

Otros gastos

<i>Ítems</i>	<i>Costo (S./) / mes</i>	<i>Costo anual (S./)</i>
Sistema de riego		
Cercos eléctricos		
Cercos vivos		

3. Ingresos monetarios

Venta de Animales

<i>Ventas</i>	<i>Cantidad vendida al año</i>	<i>Precio individual</i>	<i>Precio venta anual (S/.)</i>
Animales enteros (vivos) #			
• Terneros (as)			
• Toretes			
• Vaquillas			
• Animales de descarte			
• Toros			
• Otros			

Venta de productos

<i>Ventas</i>	<i>Cantidad vendida/día</i>	<i>Precio (S/.)</i>	<i>Precio venta anual (S/.)</i>
Leche (kg)			
Carne (kg)			
Cultivos (has)			
Forrajes (has)			
Leña (m ³)			
Árboles (pies cúbicos)			
Frutos (kg)			
Otros ingresos			