

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación

**Modelaje para mitigar gases de efecto invernadero en ganaderías
doble propósito del trópico húmedo en Honduras utilizando Buenas
Prácticas de Manejo Ganaderas**

Estudiante

Bryan Alexander Alfaro Olivorio

Marla Guadalupe Ponce Bustillo

Asesores

Isidro Antonio Matamoros, Ph.D.

Patricio E. Paz, Ph.D.

Dikson Marín López, M.Sc.

Honduras, julio 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ROGEL CASTILLO

Director Departamento Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Metodología.....	12
Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas (BPMG)	13
Manejo de Estiércol	14
Manejo de Pasturas	15
Cercas vivas y árboles dispersos en los potreros.....	17
Nutrición de Precisión.....	18
Buenas prácticas de ordeño.....	19
Software.....	19
Resultados y Discusión.....	21
Producción de leche.....	21
Vacas en producción	21
Suplementación	21
Proteína cruda.....	22
Días de ocupación	22
Fijación de CO ₂	22
Conclusiones	26
Recomendaciones.....	27
Referencias.....	28

Anexos..... 33

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Línea base de los datos de fincas pertenecientes a Programa Extensión Agrícola de Honduras.	13
Cuadro 2 <i>Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas Evaluadas por el Proyecto NAMA Ganadería.</i>	14
Cuadro 3 Datos obtenidos en base a literatura y estimaciones para las emisiones de carbono, según la línea base.	23
Cuadro 4 Emisiones de CO ₂ de la línea base y el modelaje con las Buenas Prácticas de Manejo Ganadero.	23

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Emisiones de CO₂ por kg de leche en las fincas de la línea base y las fincas modeladas con Buenas Prácticas de Manejo Ganadero (BPMG)</i>	24
Figura 2 <i>Emisiones de CO₂ por kg de carne en las fincas de la línea base y las fincas modeladas con Buenas Prácticas de Manejo Ganadero (BPMG)</i>	25

Índice de Anexos

Anexo A Modelaje de Finca Rina, línea base.	33
Anexo B Modelaje de finca Rina con Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas.....	34
Anexo C Modelaje de finca Santa Fe, línea base.	35
Anexo D Modelaje de finca Santa Fe con Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas.....	36
Anexo E Modelaje de finca Valle Hondo, línea base.....	37
Anexo F Modelaje de finca Valle Hondo con Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas.	38

Resumen

La ganadería desempeña un papel muy importante e imprescindible en la alimentación mundial. Esta investigación surge debido a la preocupante situación en que se encuentra el planeta. Comenzando con el crecimiento poblacional, este tema es de mucha importancia debido a que desencadena una serie de problemas, principalmente el aumento alarmante en la demanda de alimentos y, por ende, el aumento en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). El cambio climático tiene un impacto directo en la agricultura y ganadería, pero, no se puede negar que esto es recíproco. La ganadería actualmente ha sido muy señalada por sus emisiones de GEI, sin embargo, se ha demostrado que mediante la adopción de Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas (BPMG) es posible reducir las emisiones y así mismo, secuestrar carbono. El objetivo de esta investigación fue recopilar información sobre BPMG que tienen el potencial de reducir, mitigar o neutralizar GEI, dando como resultado una ganadería baja o neutra en emisiones de carbono. De acuerdo con las investigaciones, las BPMG son capaces de aumentar la productividad y reducir la emisión de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Este estudio, midió la capacidad de secuestro de carbono mediante la modelación de fincas con la herramienta digital TaurusWebs[®]. Las fincas estudiadas son de sistema doble propósito, en pastoreo y en condiciones ambientales del trópico húmedo de Honduras. Las BPMG investigadas fueron: manejo de estiércol, cercas vivas y arboles dispersos, nutrición de precisión, pastoreo racional y rutina de ordeño.

Palabras clave: Cambio climático, eficiencia, ganadería, productividad, secuestro de carbono.

Abstract

Livestock plays an essential role in world nutrition. This investigation arises due to the worrying situation in which the planet finds itself. Starting with population growth, this issue is of great importance because it triggers a series of problems, mainly the alarming increase in the demand for food and, therefore, the increase in the emission of greenhouse gases (GHG). Climate change has a direct impact on agriculture and livestock, but it cannot be denied that this is reciprocal. Livestock has currently been highly noted for its GHG emissions, however, it has been shown that by adopting Good Livestock Management Practices (GLMP) it is possible to reduce emissions and also sequester carbon. The objective of this research was to collect information on GLMP that have the potential to reduce, mitigate or neutralize GHG, resulting in low or carbon neutral livestock. According to research, GLMPs are capable of increasing productivity and reducing the emission of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). This study measured the carbon sequestration capacity by modeling farms with the TaurusWebs[®] digital tool. The farms studied are dual-purpose systems, grazing and in environmental conditions of the humid tropics of Honduras. The GLMPs investigated were manure management, live fences and scattered trees, precision nutrition, rotational grazing and milking routine.

Keywords: Carbon sequestration, climate change, efficiency, livestock, productivity.

Introducción

La población mundial aumentará en más de un tercio de personas, entre 2009 y 2050, por ende, también la demanda y producción de alimentos (FAO 2009). El aumento en la demanda de alimentos requiere un aumento de la productividad para alcanzar la seguridad alimentaria. Sin embargo, esto también podría representar un aumento en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Tomando en cuenta que la ganadería es una de las principales fuentes de proteína para la población, es difícil de sustituir o eliminar. Por lo cual, la ganadería se debe adaptar al cambio climático, destacando que este rubro emite una considerable cifra de gases de efecto invernadero, pero, también estudios actuales demuestran que con el buen manejo de las fincas ganaderas es posible fijar y/o secuestrar considerables cantidades de carbono y reducir las emisiones de GEI, que son emitidas principalmente por la fermentación entérica en el rumen. Aunque los sistemas de producción ganaderos emiten GEI, también, pueden actuar como sumideros de carbono, especialmente cuando se promueve la forestaría (plantaciones forestales o bosques de regeneración natural en áreas con menor vocación para la ganadería, o la arborización en áreas con pasturas (Casasola Coto y Villanueva Najarro 2015). Cabe recalcar, que las pasturas al igual que los árboles, también, tienen la capacidad para remover carbono, fijarlo o capturarlo de forma permanente.

Según la FAO (2020), el sector ganadero es un contribuyente significativo a las emisiones globales de GEI inducidas por el hombre. Las cadenas de suministro de ganado emitieron un total estimado de 8.1 GT de CO₂-eq en el año 2010. El metano (CH₄) representa aproximadamente el 50%, el dióxido de carbono (CO₂) un 26% y el óxido nitroso (N₂O) representa el 24%. Las emisiones de los gases son causadas por la producción de alimento, la fermentación entérica, los desechos de animales y el cambio en el uso del suelo. Estas son equivalentes al 14.5% de las emisiones antropogénicas globales de gases de efecto invernadero (GEI). La ganadería bovina (carne de res, leche) es responsable de alrededor de dos tercios de ese total, en gran parte debido a las emisiones de metano resultantes de la fermentación ruminal. Las emisiones de metano entérico representan el 30% de las emisiones mundiales de metano. Debido a que el metano es un contaminante climático de vida corta, la

reducción de las emisiones de metano entérico puede ayudar a mitigar el cambio climático dentro de nuestro actual tiempo de vida (FAO 2018). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue recopilar información sobre Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas (BPMG) para proponer y modelar interacciones a nivel de fincas modelo que logran reducir, mitigar o neutralizar GEI, dando como resultado una ganadería neutra o baja en emisiones de carbono.

Metodología

Honduras, debido a su ubicación geográfica se caracteriza por ser de clima tropical, pero por aspectos orográficos y la interacción con los vientos que intervienen en el país y fenómenos climáticos que afectan el país, como ondas tropicales y ciclones, se generan microclimas que se distribuyen dentro de todo el territorio. Estos climas van desde el clima tropical seco a clima tropical húmedo (Argeñal 2010). El país cuenta con dos estaciones bien marcadas, estación seca y estación lluviosa, la temporada lluviosa se concentra entre mayo y noviembre donde se pueden observar precipitaciones que oscilan entre 500 y 3400 mm (Hernandez 2016). La precipitación media supera los 1500 mm que son característicos de los climas tropicales. La temporada seca se concentra entre noviembre-abril, y los acumulados de precipitación alcanzan los 250 mm.

Para las modelaciones correspondientes a esta investigación, se utilizó la base de datos del Programa Extensión Agrícola de Honduras, tomando como referencia tres fincas para el modelaje de la línea base. Para seleccionarlas, se sometieron a los siguientes filtros; el primero fue seleccionar todas las fincas ubicadas en el trópico húmedo de Honduras. En el segundo filtro se eligieron fincas caracterizadas por tener un tipo de sistema de doble propósito y sistema de pastoreo. En el tercer y último filtro se eligieron las fincas en base al número de cabezas totales, para tener una relación entre número de cabezas y tamaño del hato, definiéndolas como fincas pequeña, mediana y grande (Cuadro 1).

Cuadro 1**Línea base de los datos de fincas pertenecientes a Programa Extensión Agrícola de Honduras.**

Parámetros	Fincas		
	Rina	Santa Fe	Valle Hondo
# cabezas	87	249	529
Tipo de sistema	DP, Pas	DP, Pas	DP, Pas
Área (ha)	56	52.41	663.86
Producción de leche (L)	7.3	6.5	7.2
Peso vaca (kg)	617	519	551
Vacas en producción (%)	51.21	57.14	65.14
Suplementación (%)	22	46	8
Proteína Cruda (% PC)	10	10	10
Pastoreo (días/potrero)	5	1	4
Recuperación (días/potrero)	14	19	60
kg CO ₂ /m ²	0.023	0.025	0.079
kg CO ₂ /año Árboles	34265	62300	79210
Crías /hembra/año	0.8	0.8	0.8
Peso Promedio Cría (kg)	35	35	35
GDP Cría (Kg)	0.53	0.33	0.39

Nota. Adaptado de Proyecto Extensión Agrícola Honduras (2016). GDP= Ganancia diaria de peso. DP: Doble Propósito. Pas: Pastoreo.

Para las fincas modelo se tomaron datos de literatura enfocados en Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas (BPMG) para mejorar la eficiencia de producción y minimizar el impacto ambiental negativo.

Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas (BPMG)

Durante el desarrollo de las propuestas del proyecto, Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA) Ganadería, lo técnicos involucrados determinaron que las Buenas Prácticas de Manejo (BPMG), tienen diferentes intensidades de impacto en los parámetros de adaptación y mitigación al cambio climático y productividad de la ganadería (Cuadro 2).

Cuadro 2

Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas Evaluadas por el Proyecto NAMA Ganadería.

BPMG	Parámetros evaluados		
	Adaptación	Mitigación	Productividad
Manejo de estiércol	+	+++	++
Manejo de pasturas	+++	+++	+++
Cercas vivas	+	+++	+
Nutrición de precisión	++	+++	+++
Buenas prácticas de ordeño	+	+	+++

Nota. Adaptado del proyecto NAMA Ganadería (CATIE 2021). BPMG: Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas. +: impacto leve. ++: impacto moderado. +++: bastante impacto o que es una práctica prometedoras.

Según el análisis general realizado por FAO (2017), hay un alto potencial para reducir la intensidad de las emisiones de GEI; la intensidad de emisión (kg CO₂/ kg proteína) se puede reducir en un 7 a un 45%, la magnitud variará en función de la intervención y sistema de producción evaluado. En cuanto a la productividad en la producción de leche puede alcanzar un aumento entre 4.3 y 80%.

Estas BPMG se caracterizan por ser acciones de adaptación y mitigación, desempeñando un papel clave en la transición hacia una ganadería competitiva y económicamente rentable, a la vez puede presentar bajas emisiones de carbono y aumentar su resiliencia al clima.

Manejo de Estiércol

La colecta y almacenamiento del estiércol puede reducir las emisiones de GEI. Sin embargo, se debe considerar que el manejo del estiércol sólido y líquido es diferente. Se debe tomar en cuenta que la temperatura del estiércol influye en la cantidad de metano (CH₄) y amoníaco (NH₃) producido en la digestión anaeróbica, donde existen menores emisiones a bajas temperaturas. Al igual realizar aireación del estiércol sólido como líquido puede reducir las emisiones tanto de metano (CH₄) como de óxido nitroso (N₂O) (Andeweg y Reisinger 2014).

El estiércol se puede separar en parte líquida y sólida, la parte líquida puede ser usada de dos maneras, una es el uso para el biodigestor para la producción de biogás que puede ser transformado en energía, también, están los efluentes del biodigestor que pueden ser usados como fertilizantes

orgánicos para las pasturas y así reducir el uso de fertilizantes químicos. La parte sólida también se utiliza para la producción de abono orgánico (compost) (Mena Soto 2015).

Según Berra y Finster (2003), la composición del estiércol, que depende de la dieta de los animales, también afecta la cantidad de metano producido, cuanto mayor es el contenido energético y la digestibilidad del alimento, mayor es el potencial de emisión de metano. Por ejemplo, los animales en feedlot (corral de engorde especializado), alimentados con dietas altamente energéticas, generan estiércol con gran capacidad de producción de metano, mientras que el ganado mantenido con forrajes de baja concentración energética, producen estiércol con la mitad de capacidad de formación de metano que en el caso del feedlot.

Los rumiantes emiten alrededor de 5% de metano entérico por medio del recto. Sin embargo, el 95% que equivale a la mayor emisión de este gas se da por medio de eructos. La fermentación entérica es un proceso natural de la fisiología de los rumiantes, los microorganismos ruminales fermentan los productos que son fuente de energía, durante este proceso se da la emisión de metano que al contrario provoca pérdida de energía y contaminación ambiental. Estas emisiones se pueden reducir mejorando la nutrición. Otros productos finales de la fermentación, son los ácidos grasos volátiles de cadena corta (AGV): ácido acético, propiónico y butírico, son absorbidos por la pared del rumen y de ellos depende la cantidad de metano emitida. Las dietas altas en fibra producen ácido acético, en cambio, una dieta a base de concentrado producirá más ácido propiónico (Casasola Coto y Villanueva Najarro 2015).

Manejo de Pasturas

Según FAO (2010) la productividad en fincas que adoptaron sistemas silvopastoriles y pastos mejorados dio como resultado un aumento de cinco veces el ingreso económico en la finca (ingresos/ha/año), y un aumento en la autosuficiencia del 30 al 40%.

Las pasturas bien manejadas, además de brindar una buena nutrición al ganado funcionan como catalizadores de dióxido de carbono, que es uno de los gases acusados del calentamiento global.

Tomando en cuenta que las pasturas de calidad mejoran la alimentación del ganado, lo cual genera que disminuyan las emisiones de metano por fermentación ruminal (Oliveira 2009). Sin embargo, cabe mencionar que estas pasturas son capaces de capturar dióxido de carbono del ambiente mediante la fotosíntesis, y al estar en constante pastoreo el ganado, el pasto debe regenerarse. Esto significa que el pasto está constantemente captando carbono, incorporándolo al suelo y fijándolo. Según Cárdenas Castro et al. (2012), el pasto *Brachiaria brizantha* tiene un desarrollo exitoso en sistemas silvopastoriles, su productividad en materia seca es de 6.3-14.9 toneladas MS/ha, y en captura de carbono entre 2.7-6.4 toneladas CO₂/ha.

Según Soto (2015) la sustitución de pasturas naturales por pasturas mejoradas permite un incremento del 15% en la producción de leche y un 20% la carga animal por hectárea. Lo cual reduce los costos y aumenta la sostenibilidad del sistema. La producción de leche aumentó en sistemas silvopastoriles combinados con pasturas mejoradas, en comparación con los sistemas que solo usan pasturas nativas. El uso de estos pastos mejorados aporta mayor cantidad de biomasa, lo cual significa mayor cantidad de pasto para el animal, también el uso de estos pastos mejorados nos provee mayor cantidad de materia seca y proteína cruda, lo que se va a reflejar en el aumento en productividad.

El pasto *B. brizantha* sin ninguna intervención sobre manejo de pasturas provee entre un 10–12% de proteína cruda y entre 20 a 25 toneladas de materia seca al año por hectárea (INTA 2014). Sin embargo, este pasto puede ser fertilizado con los efluentes obtenidos de los biodigestores (biol). Al realizar aplicaciones de biol con dosis de 10,000 litros por hectárea se logra alcanzar porcentajes de proteína cruda del 16.1% (Aguilar y Kuan 2019).

El Pastoreo Racional Voisin (PRV), permite el descanso y recuperación de las pasturas garantizando su calidad y cantidad. Una de las cuatro leyes del PRV dice que: “Para que una vaca pueda dar rendimientos regulares es preciso que no permanezca más de tres días en una misma parcela. Los rendimientos serán máximos si la vaca no permanece más de un día en una misma parcela” (Pinheiro Machado 2006). Evitar el sobrepastoreo es una de las reglas más importantes en la rotación de

pasturas. Según las condiciones el pasto *B. brizantha* requiere aproximadamente entre 30-40 días de descanso (FAO y MAG 1998).

Cercas vivas y árboles dispersos en los potreros

En las últimas décadas el uso de cercas vivas ha incrementado debido a que su utilización como postes representa un ahorro económico y además es una práctica ecológica. Su establecimiento representa un 54% menos costo comparadas con las cercas convencionales (Lascano y Holmann 1997). El uso de cercas vivas aumenta la productividad de la finca, también, protegen los recursos naturales, favorecen la biodiversidad y almacenan altas cantidades de carbono (De la Ossa-Lacayo 2013). Se ha demostrado que, dentro de sistemas silvopastoriles, las cercas vivas también pueden ser una fuente considerable de forrajes para la nutrición animal (Rivera y Centeno 2014). Este tipo de cercas son llamadas cercas incipientes, donde la vegetación dominante está compuesta por arbustos de porte pequeño que están establecidos a lo largo de los alambrados de los potreros donde se pastorea el ganado. Este tipo de cercas se caracterizan por llegar a tener un ancho promedio de 5 metros y una altura de 4 metros (FAO 2021). La fijación o almacenamiento de carbono en suelos tropicales con la inclusión de agroforestería es de 8.9 ton C/ha, en el caso de cercas vivas 1.6 Km de cerca viva equivale a 1 ha de plantación pura, siendo los linderos considerados como una forma de sistemas silvopastoriles (FAO 2003).

Proveer sombra al ganado, incrementa la producción de leche en un rango de 10 a 22% en comparación a potreros sin árboles (Villanueva et al. 2009). El uso de árboles dispersos dentro los potreros beneficia el consumo de pasto del animal en horas donde el calor es muy alto, ya que le provee sombra y disipa el estrés por calor lo cual permite que el animal se alimente en estas horas donde existen temperaturas mucho más altas.

Nutrición de Precisión

Según Casasola y Najarro (2015), el uso de nitratos en las dietas del ganado puede llegar a reducir hasta un 50% las emisiones de metano. Los nitratos son prometedores para reducir el metano porque son sumideros de electrones. Los nitratos actúan como una fuente alternativa de hidrogeno en el rumen por lo tanto se disminuye la formación de metano. El uso de altas concentraciones de nitratos en las dietas disminuye entre un 16 a 25% de emisión de metano entérico por kg de materia seca consumida por los animales (Martin et al. 2019).

Al incluir pequeñas cantidades de semillas de oleaginosas, como algodón, soya y girasol en las dietas bovinas altas en forrajes, se disminuyen las emisiones de metano. Es importante considerar aportes bajos para que el patrón de fermentación no sea afectado (Santacoloma Varón 2011). Debido a que los lípidos afectan la metanogénesis, por medio de la hidrogenación de ácidos grasos insaturados y esto ayuda a la captura de dihidrógeno (H_2), la presencia de lípidos en las dietas aumenta la producción de ácido propiónico lo cual disminuye las emisiones de metano porque existen menos hidrógenos libres que se puedan unir al carbono para formar el metano. Se ha demostrado que la adición de ácidos grasos poliinsaturados como el ácido linoleico y el ácido linolénico reducen la metanogénesis porque es una ruta alterna para consumir los hidrógenos (Martin et al. 2019).

La incorporación de ionoforos en las dietas de los animales también benefician la proliferación de bacterias amilolíticas y favorecen la producción de propionato, que por su capacidad de captar radicales libres de electrones es un sumidero efectivo con cuatro hidrógenos por molécula de propionato, de esta manera se limita la producción de metano. Los ionoforos disminuyen las emisiones de gas metano ya que disminuyen los sustratos (hidrogeniones y el formiato) que usan las bacterias metanogénicas. Porque las bacterias que producen estos sustratos son sensibles a los ionoforos (Martin et al. 2019). Investigaciones realizadas por FAO (2017), determinaron que el uso de recursos alimenticios no convencionales y alimentación de alta energía/proteína resultó en una reducción del 26-28% en la intensidad de las emisiones de metano y un aumento del 34-36% en la

producción de leche. Se debe garantizar que las dietas sean de calidad y buscar disminuir las pérdidas energéticas que tiene el ganado bovino en forma de metano.

Buenas prácticas de ordeño

FAO (2018), estima que mejorando las prácticas de cría se pueden reducir las emisiones entre un 20 y un 30% en todos los sistemas de producción.

“El aumento y la mejora en la eficiencia de la producción de leche (PL) pueden ser alcanzados por las vacas con mayor frecuencia de ordeño (FO). Frecuencias de ordeño de más de dos veces/ día pueden aumentar la PL en un 10.4 a un 21% y mayores FO en la lactancia temprana pueden aumentar la PL en forma persistente. Los aumentos en la FO han mostrado una reducción en el conteo de células somáticas (CSS) y también se observa una tendencia de reducción de los CCS a lo largo de la lactancia” (Andrade et al. 2016). Al reducir la cantidad de células somáticas se garantiza la salud de la ubre y la posibilidad de que el animal padezca mastitis es menor. Teniendo menor incidencia de mastitis en el hato, garantizamos una producción de leche constante y no tenemos pérdidas de producción por afectación de mastitis. Con el aumento de la frecuencia de ordeño tenemos mayor producción de leche, lo cual ayuda a disminuir los kg de carbono emitido por litro de leche y así contribuimos a generar ganaderías más sostenibles y más rentables.

Software

TaurusWebs® es un software para la gestión ganadera, permite generar registros de campo dentro de las fincas y también contiene herramientas de simulación para generar posibles escenarios a futuro y poder tomar mejores decisiones dentro de la finca ganadera. El programa también puede generar listados de actividades a realizar dentro de la finca y generar análisis económicos de inventarios de ganado, teniendo en cuenta la depreciación y el margen bruto, margen neto, estado de pérdidas y ganancias para poder tomar mejores decisiones y así poder lograr que la finca sea autosostenible. TaurusWebs® es un programa de registros zootécnicos, diseñado en Bogotá,

Colombia y fue desarrollado en cofinanciamiento con el Ministerio de Agricultura y algunas asociaciones ganaderas con el fin de realizar montajes de sistemas de información ganadera, utilizado en fincas ganaderas de carácter lechero, carne y doble propósito. Los análisis que se pueden realizar con TaurusWebs® son los siguientes: análisis de proteína y energía por imágenes de dron, sistema de inteligencia artificial, análisis bromatológicos digitales, análisis de huella de carbono, análisis de estrés calórico entre otros (Ospina Rivera 2021).

Resultados y Discusión

Los datos de la línea base requeridos para hacer la correspondiente modelación en el Software TaurusWebs® fueron modificados en base a literatura y cálculos correspondientes para alcanzar los estándares promedios o ideales que debería aplicar una finca ganadera con un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de Honduras.

Producción de leche

La producción de leche se ve afectada positivamente por las BPMG, representando aumentos de 20% con la utilización de pastos mejorados, 22% uso de cercas vivas y arboles dispersos para reducir el estrés calórico, 36% nutrición de precisión y 21% aumentando la frecuencia de ordeño. El aumento total fue de 99%, en las fincas Rina, Santa Fe y Valle Hondo con aumentos de 7.2, 6.4 y 7.1 L respectivamente.

Vacas en producción

Para la variable vacas en producción se utilizó el 80%, ya que, según Carmona y Arroyo (2006) para obtener una lechería productiva y eficiente es necesario mantener una proporción de un 80% del total de vacas del hato lactando, y el 20% restante en periodo seco. Para alcanzar estos niveles de vacas en producción se debe practicar técnicas de detección de celo, y tener porcentajes de preñez muy altos para lograr reducir los intervalos entre partos y así llegar a un 80% del hato en producción y lograr que este sea rentable.

Suplementación

Sheen y Riesco (2002), señalan que con el buen manejo del pastoreo en *Brachiaria* se puede producir de 6 a 12.4 L de leche/vaca/día. En trópico húmedo se puede llegar a producir hasta 8.5 L de leche/vaca/día. Para aumentar la producción de leche se suplementó con un 41.4% en la finca Rina,

34.1% y 40.6% para las fincas Santa Fe y Valle Hondo respectivamente, alcanzando un aumento de 99% en la producción.

Proteína cruda

La proteína cruda (PC) utilizada para la modelación aumentó 10% a 16.11% debido a la fertilización orgánica con biol, representando un aumento de 37.9% más PC en el pasto. Esta práctica se realizó también con el objetivo de reducir costos, evitando el uso de fertilizantes sintéticos y la contaminación por óxido nitroso.

Días de ocupación

Para los días de ocupación y descanso en los potreros se tomaron en cuenta las leyes de Voisin. Un día de ocupación para mayor productividad y 15 días mínimo de descanso recomendado para *B. brizantha*. Resultando en un uso más eficiente del tiempo y espacio, además, acelerando y extendiendo el ciclo de fijación de C, evitando la compactación, escorrentía y lignificación del pasto.

Fijación de CO₂

La fijación de CO₂ se mide de acuerdo al número de árboles por ha, con este propósito se aumentó el área ocupada por árboles en la finca, utilizando el 40% del área total entre arboles dispersos y cercas vivas, según Olivera (2010) los porcentajes más utilizados en áreas de cobertura arbórea en fincas de Nicaragua rondan entre 0 y 49 % de cobertura.

Para realizar la Modelación se modificaron los siguientes parámetros de la Línea Base: producción de leche (L), vacas en producción del hato (%), proteína cruda de los pastos, captura de carbono por árboles y el pasto en la finca, días de ocupación y recuperación de los pastos, porcentaje de suplementación e intervalo entre partos (Cuadro 3).

Cuadro 3

Datos obtenidos en base a literatura y estimaciones para las emisiones de carbono, según la línea base.

Parámetros	Fincas		
	Rina	Santa Fe	Valle Hondo
# cabezas	87	249	529
Tipo de sistema	DP, Pas	DP, Pas	DP, Pas
Área (ha)	56	52.41	663.86
Producción de leche (L)	14.5	12.9	14.3
Peso vaca (kg)	617	519	551
Vacas en producción (%)	80	80	80
Suplementación (%)	41.4	34.1	40.6
Proteína Cruda (% PC)	16.11	16.11	16.11
Pastoreo (días/potrero)	1	1	1
Recuperación (días/potrero)	35	35	35
kg CO ₂ /m ²	0.045	0.045	0.045
kg CO ₂ /Año Árboles	199360	185476	2363306
Crías /hembra/año	0.9	0.9	0.9
Peso Promedio Cría (kg)	35	35	35
GDP Cría (Kg)	0.53	0.33	0.39

Nota. Adaptado de Proyecto Extensión Agrícola Honduras (2016). GDP= Ganancia diaria de peso. DP: Doble Propósito. Pas: Pastoreo.

La reducción en las emisiones de CO₂ fueron muy notorias, dando como resultado una reducción en la finca Rina de 4.41 kg de CO₂ por litro de leche y 11.03 kg de CO₂ por kg de carne. En la finca Santa Fe se redujo 3.22 y 8.07 kg de CO₂ en leche y carne respectivamente, al igual que en la finca Valle Hondo se redujo 4.07 kg de CO₂ en la producción de leche y 10.18 kg de CO₂ en producción de carne (Cuadro 4).

Cuadro 4

Emisiones de CO₂ de la línea base y el modelaje con las Buenas Prácticas de Manejo Ganadero.

Finca	Linea base			Modelaje		
	Ts	# cabezas	kg CO ₂ /L leche	kg CO ₂ /kg carne	kg CO ₂ /L leche	kg CO ₂ /kg carne
Rina	DP, Pas	87	5.77	14.43	1.36	3.4
Santa Fe	DP, Pas	249	4.47	11.19	1.25	3.12
Valle Hondo	DP, Pas	529	5.39	13.48	1.32	3.3

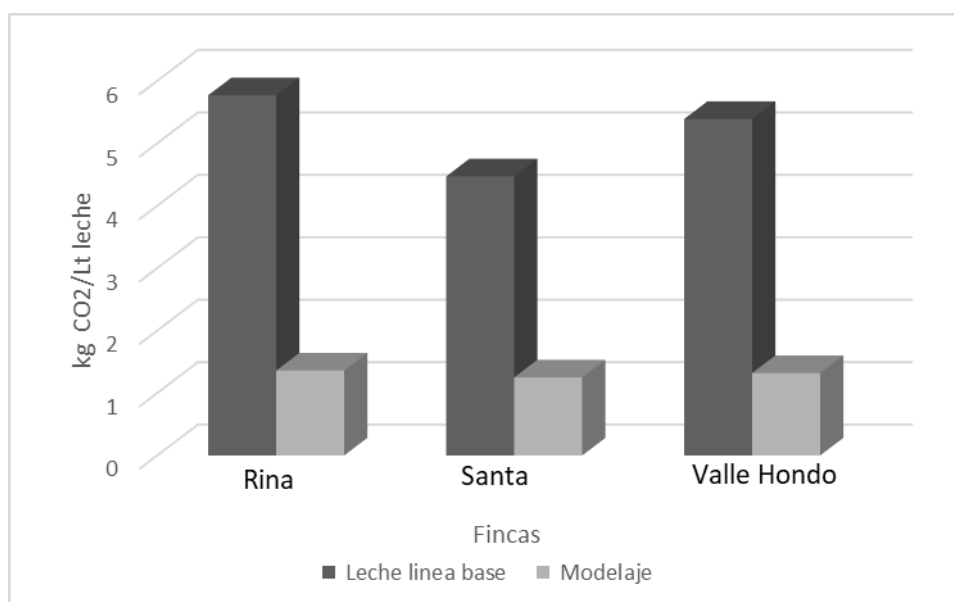
Nota. Ts: Tipo de sistema. DP: Doble Propósito. Pas: Pastoreo.

El uso de Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas (BPMG) reflejaron que una finca puede llegar a tener bajas emisiones de CO₂, e incluso que si se incorporan más prácticas de manejo se podría llegar a tener fincas de carbono neutro e incluso con carbono positivo.

La finca Rina a partir de la línea base se obtuvo emisiones de carbono de 5.77 kg de CO₂ por litro de leche, y al aplicar Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas (BPMG) esto se redujo a 1.36 kg de CO₂ por litro de leche. Las fincas Santa Fe y Valle Hondo también, disminuyeron las emisiones de 4.47 a 1.25 y de 5.39 a 1.32 kg de CO₂ por litro de leche respectivamente. En la modelación con uso de BPMG se notó una reducción del 76.43% de las emisiones de carbono por litro de leche en la finca Rina. Al igual para la finca santa Fe y Valle Hondo se notó una reducción de emisiones de carbono del 72.04 y 75.51 % respectivamente (Figura 1).

Figura 1

Emisiones de CO₂ por kg de leche en las fincas de la línea base y las fincas modeladas con Buenas Prácticas de Manejo Ganadero (BPMG).

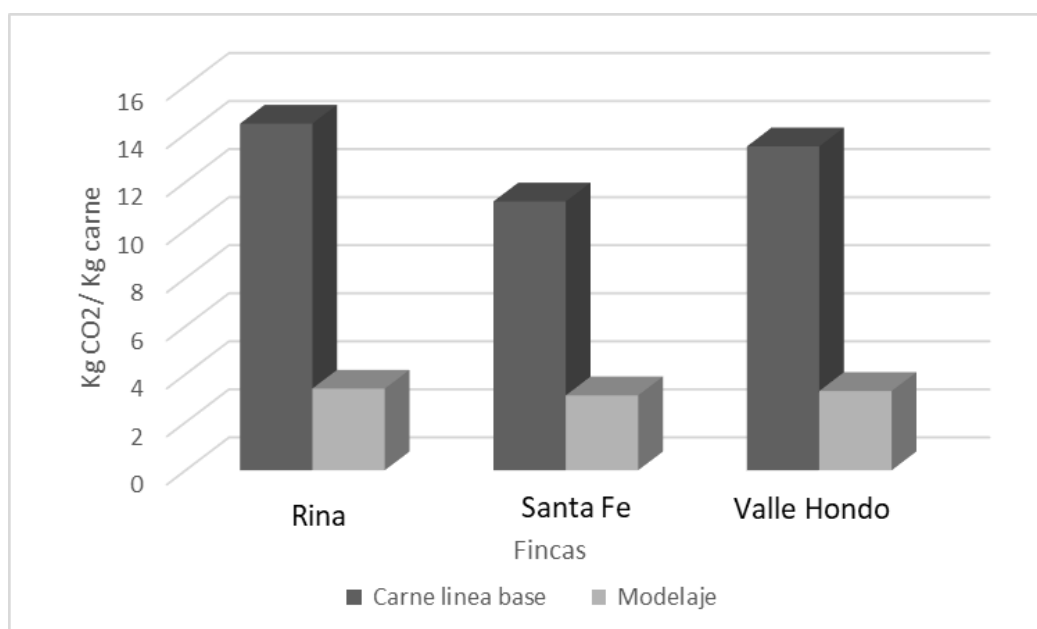


Las fincas analizadas, por ser de característica doble propósito, también se analizaron las emisiones de carbono por kg de carne producida.

La finca Rina partiendo de la línea base se obtuvo una producción de CO₂ por kg de carne de 14.43 kg de CO₂ por kg de carne. Sin embargo, al hacer uso de las Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas (BPMG) dichas emisiones se redujeron a 3.4 kg de CO₂ por kg de carne. En las fincas Santa Fe y Valle Hondo disminuyeron las emisiones de 11.19 a 3.12 y de 13.48 a 3.3 kg de CO₂ por kg de carne producido respectivamente. En la modelación con uso de BPMG se notó una reducción del 76.44% de las emisiones de carbono por kg de carne en la finca Rina. Al igual para la finca Santa Fe y Valle Hondo se notó una reducción de emisiones de carbono del 72.12 y 75.52%, respectivamente (Figura 2).

Figura 2

Emisiones de CO₂ por kg de carne en las fincas de la línea base y las fincas modeladas con Buenas Prácticas de Manejo Ganadero (BPMG).



Conclusiones

Mediante la implementación de Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas (BPMG) se logró reducir o mitigar las emisiones de carbono equivalente en las fincas, con estas también se podría llegar a una ganadería carbono neutro o positivo.

La implementación de pastoreo racional y árboles dispersos, además, de ser prácticas para adaptación al cambio climático, son prácticas de reducción y mitigación de las emisiones de GEI, esto debido a la gran captura de carbono evidenciada en la presente investigación.

Recomendaciones

Realizar más estudios de este tipo, implementando otros sistemas de producción que permitan demostrar el impacto positivo de la ganadería en el medio ambiente, y así cambiar la imagen negativa que se ha creado durante siglos ya que con buen manejo las ganaderías pueden ser sostenibles.

Tomar en cuenta otras características o técnicas que se practican en la finca y que tienen un impacto directo como: raza del ganado (genética), especie de los árboles y uso de energías renovables para evaluar si con más practicas podemos llegar a una ganadería de carbono neutro.

Realizar análisis bromatológicos con imágenes captadas por medio de un dron y analizadas por medio del programa TaurusWebs® para obtener datos en tiempo real y más precisos de Proteína cruda (PC) y dióxido de carbono (CO₂) fijado por m² del pasto establecido en la finca.

Referencias

- Aguilar E, Kuan L. 2019. Efecto de la fertilización con biol y sintética sobre la producción de materia seca y calidad del pasto *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, finca El Plantel, Masaya 2017 - 2018 [Tesis]. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria UNA; [consultado el 5 de jun. de 2021]. <https://repositorio.una.edu.ni/3949/1/tnf04a283f.pdf>.
- Andeweg K, Reisinger A. 2014. Reducing greenhouse gas emissions from livestock: Best practice and emerging options. Palmerston North: New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre. 43 p. ISBN: 978-0-473-30432-4.
- Andrade R, Caro ZE, Porras JL. 2016. Efecto de la frecuencia de ordeño en la producción y comportamiento de vacas lecheras en lactancia. Revista Científica; [consultado el 12 de may. de 2021]. 26(1):33–40. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/959/95944832007/html/index.html>.
- Argeñal F. 2010. Variabilidad climática y cambio climático en Honduras. Honduras: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD; [consultado el 5 de may. de 2021]. <https://bit.ly/37IAz4W>.
- Berra G, Finster L. 2003. Emisión de gases de efecto invernadero. Argentina: Instituto de patobiología INTA Castelar; [consultado el 8 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/3A8Qmk2>.
- Cárdenas Castro E, Bustamante Lozano ÁM, Espitia Barrera JE, Páez Martínez A. 2012. Productividad en materia seca y captura de carbono en un sistema silvopastoril y un sistema tradicional en cinco fincas ganaderas de piedemonte en el departamento de Casanare. Rev. Med. Vet. (24):51. doi:10.19052/mv.1339.
- Carmona Solano G, Arroyo G. 2006. Cómo medir la Eficiencia Reproductiva de su Hato Lechero. Costa Rica: Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos, Costa Rica; [consultado el 22 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/37mxbab>.
- Casasola Coto F, Villanueva Najarro C. 2015. Buenas prácticas para la mitigación al cambio climático de los sistemas de producción de leche en Costa Rica. 1° Edición. Costa Rica: CATIE. ISBN: 978-9977-57-651-0.

- [CATIE] Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 2021. Technology description for the Honduras NAMA Livestock. Project “Transforming the Honduran livestock sector to contribute to a low-carbon economy”. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- De la Ossa-Lacayo A. 2013. Cercas vivas y su importancia ambiental en la conservación de avifauna nativa. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*; [consultado el 4 de may. de 2021]. 5(1):171–193. <https://revistas.unisucree.edu.co/index.php/recia/article/view/483/530>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2010. Grassland carbon sequestration: management, policy and economics Proceedings of the Workshop on the role of grassland carbon sequestration in the mitigation of climate change. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (vol. 11). ISBN: 978-92-5-106695-9; [consultado el 28 de jun. de 2021]. <http://www.fao.org/3/i1880e/i1880e.pdf>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2017. Options for low-emission development in the KENYA dairy sector: Reducing enteric methane for food security and livelihoods. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations and New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre; [consultado el 1 de jul. de 2021]. <http://www.fao.org/3/i7669e/i7669e.pdf>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2020. Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; [consultado el 28 de may. de 2021]. <http://www.fao.org/gleam/results/en/>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2003. Agroforestería para la producción animal en América Latina. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 374 p. (Estudio FAO producción y sanidad animal; vol. 155). ISBN: 92-5-304889-1; [consultado el 15 de may. de 2021].
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2009. La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Roma: Secretaría del foro de alto nivel de expertos; [consultado el 7 de may. de 2021]. <https://bit.ly/3CiCvcW>.

- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. 2018. Soluciones ganaderas para el cambio climático. Zambia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación; [consultado el 20 de jun. de 2021]. <http://www.fao.org/3/i8098ES/i8098es.pdf>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. 2021. El papel de las cercas vivas en un sistema agropecuario en el Pidemonte Llanero. Colombia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación; [consultado el 23 de may. de 2021]. <http://www.fao.org/3/y4435s/y4435s05.htm>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, [MAG] Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1998. La siembra de *Brachiaria brizantha* en zona de ladera de hojancha. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería; [consultado el 22 de may. de 2021]. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0350.pdf>.
- Hernandez A. 2016. El cambio climático en Honduras la infancia en peligro. Honduras: UNICEF; [consultado el 2 de jul. de 2021]. <https://uni.cf/2TV9dzB>.
- [INTA] Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. 2014. Pasto marandú. Managua, Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria; [consultado el 6 de may. de 2021]. <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/plegables/Brochure%20Marandu%202014.pdf>.
- Lascano CE, Holmann F. 1997. Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito. Cali, Colombia: CIAT. ISBN: 958-9439-93-4; [consultado el 22 de may. de 2021]. <https://bit.ly/37nGqqw>.
- Martin NY, Rojas GdJ, Arenas NE, Herrera-Franco V. 2019. Alternativas nutricionales para disminuir emisiones de gas metano por bovinos y su efecto en el calentamiento global. Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias; [consultado el 12 de may. de 2021]. 3(1). <https://bit.ly/3ipCmwk>.
- Mena Soto K. 2015. Compendio de experiencias en la mitigación de Gas de Efecto Invernadero (GEI) para la agricultura y ganadería. San Jose Costa Rica: Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura; [consultado el 30 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/2X0eeZ1>.

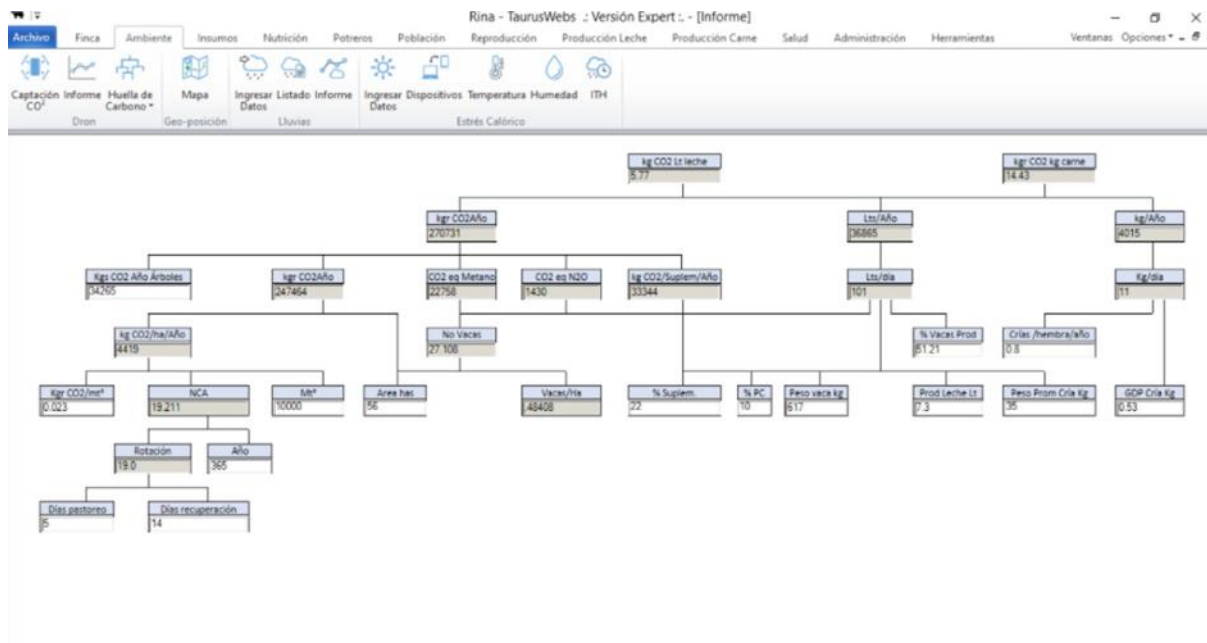
- Oliveira M. 2009. Pasturas contra el calentamiento global. Revista Pesquisa FAPESP; [consultado el 19 de jun. de 2021]. (158). <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/pasturas-contra-el-calentamiento-global/>.
- Olivera M. 2010. Impacto del arreglo espacial del componente arbóreo en sistemas silvopastoriles sobre el nivel de sombreado y la conectividad estructural de los paisajes en los municipios de Belén y Matiguás, Nicaragua [Tesis de Maestría]. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza; [consultado el 15 de may. de 2021]. <https://bit.ly/3lAnCww>.
- Ospina Rivera OF. 2021. Los sistemas de información como herramienta de competitividad importancia de la información en la ganadería. Colombia: TaurusWebs Software; [consultado el 30 de jun. de 2021]. http://www.suinowebs.com/e_learning/1Sistemasinformacion.pdf.
- Pinheiro Machado LC. 2006. Pastoreo racional Voisin: Tecnología agroecológica para el tercer milenio. 1 ed. Buenos Aires, Argentina: Hemisferio Sur. 253 p. ISBN: 950-504-576-X.
- Rivera D, Centeno A. 2014. Evaluación del establecimiento de Moringa oleífera Lam. (Marango) en un sistema de cercas viva en la Finca Santa Rosa-UNA, Managua, Nicaragua [Tesis]. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria; [consultado el 30 de jun. de 2021]. <https://core.ac.uk/download/pdf/35164928.pdf>.
- Santacoloma Varón LE. 2011. Vista de Las dietas en las emisiones de metano durante el proceso de rumia en sistemas de producción bovina. Revista de Investigación Agraria y Ambiental; [consultado el 5 de may. de 2021]. 2(1):55–64. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/913/908>.
- Sheen R S, Riesco D A. 2002. Factores que afectan la producción de leche en vacas de doble propósito en trópico húmedo (Pucallpa). Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú; [consultado el 18 de jun. de 2021]. 13(1):25–31. <https://bit.ly/3iqPx08>.
- Villanueva C, Ibrahim M, Casasola F, Rios N, Sepulveda C. 2009. Sistemas silvopastoriles: una herramienta para la adaptación al cambio climático de las fincas ganaderas en América Central: Buenas Practicas Agrícolas para la adaptacion al cambio climatico. Costa Rica: Centro Agronómico

Tropical de Investigación y Enseñanza; [consultado el 2 de jul. de 2021]. <https://www.biopasos.com/documentos/2/005.pdf>.

Anexos

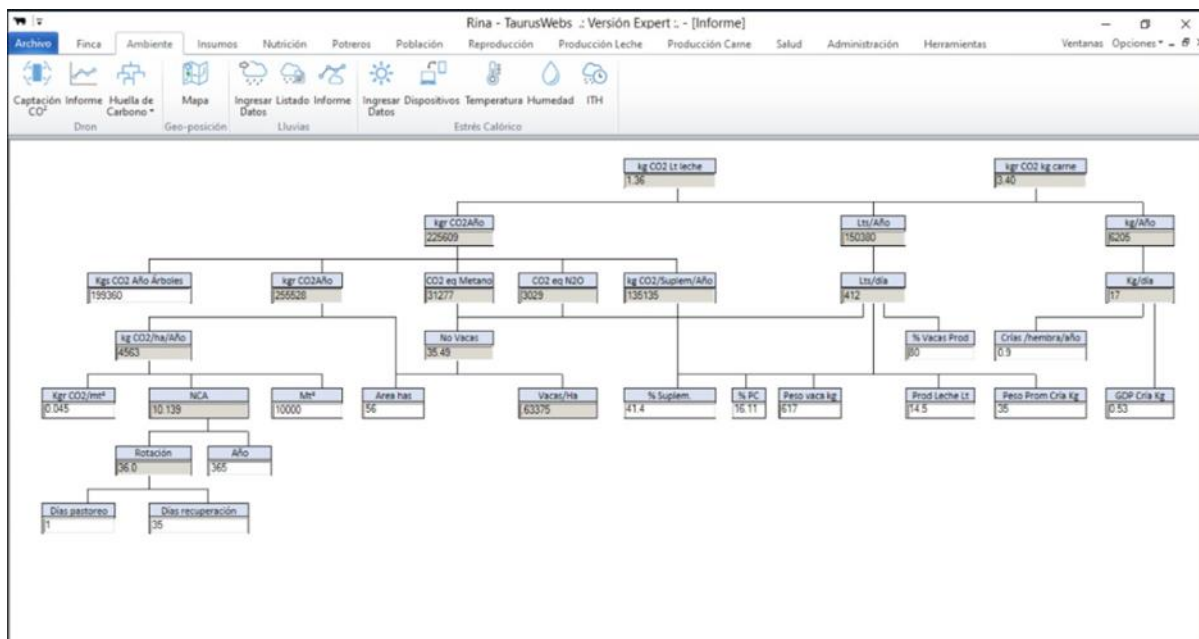
Anexo A

Modelaje de Finca Rina, línea base.



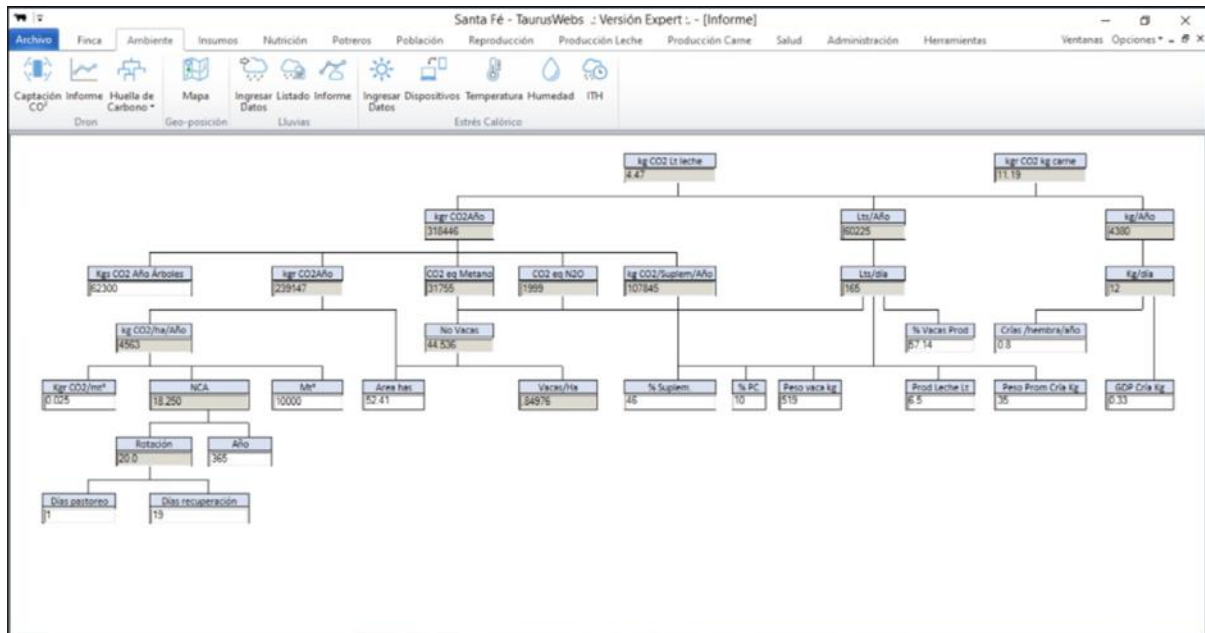
Anexo B

Modelaje de finca Rina con Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas.



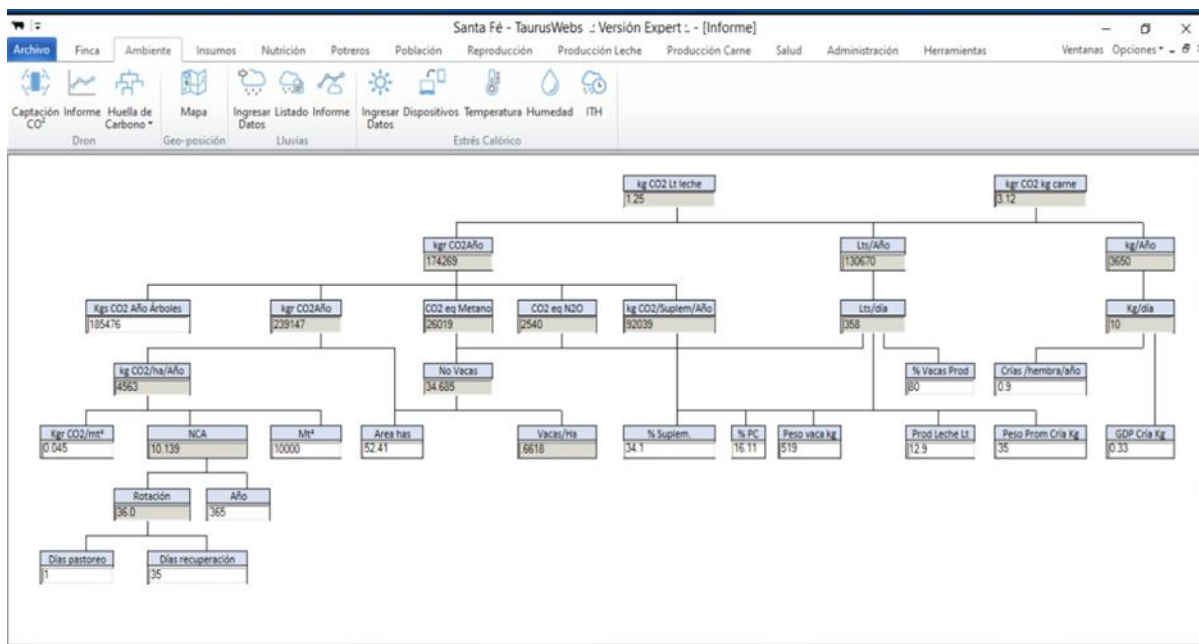
Anexo C

Modelaje de finca Santa Fe, línea base.



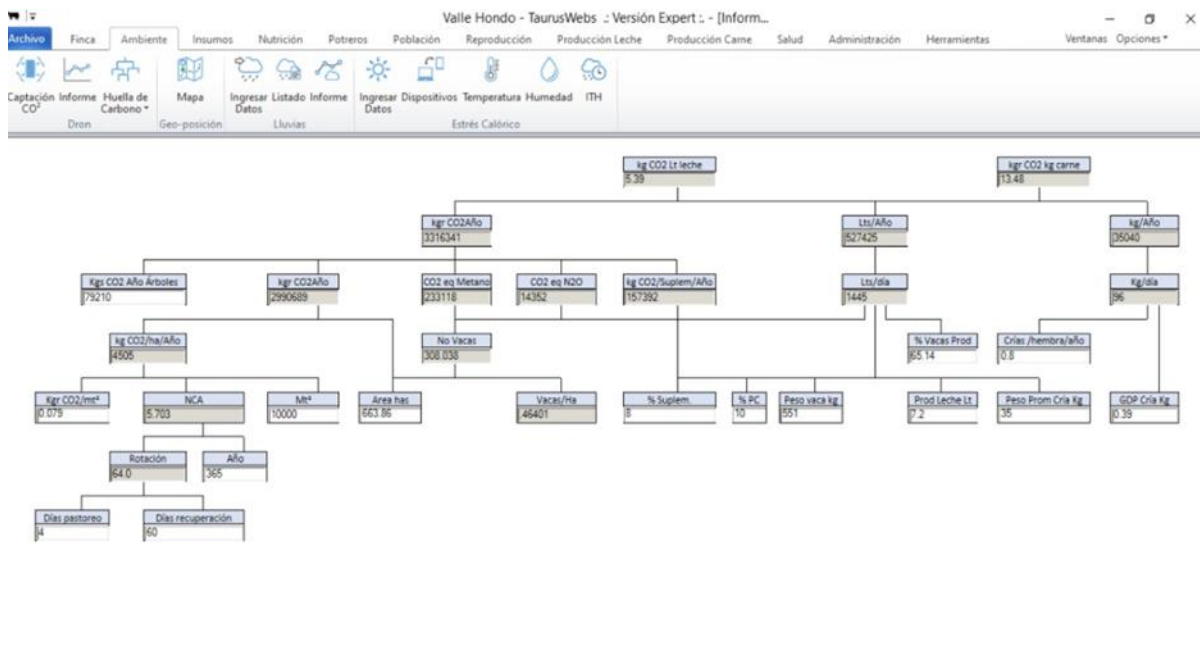
Anexo D

Modelaje de finca Santa Fe con Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas.



Anexo E

Modelaje de finca Valle Hondo, línea base.



Anexo F

Modelaje de finca Valle Hondo con Buenas Prácticas de Manejo Ganaderas.

