



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

El ciclo de vida en la producción de leche y la dinámica de las
emisiones de gases de efecto invernadero en fincas doble propósito de
la península de Azuero, República de Panamá

por

Jéssica Aimeé Hassán Vásquez

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Turrialba, Costa Rica, 2011

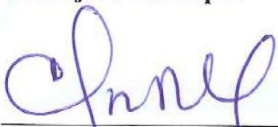
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL


FIRMANTES:



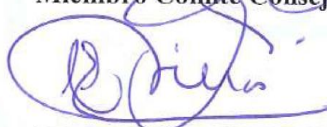
Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Consejero Principal



Claudia Sepúlveda, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



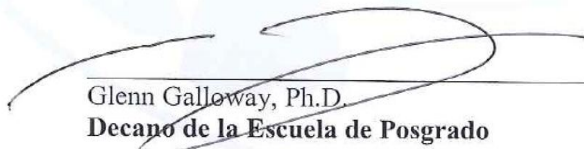
Leonardo Guerra, M.Sc.
Miembro Comité Consejero




Cristóbal Villanueva, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Diego Tobar, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Jéssica Aimeé Hassán Vásquez
Candidata

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado primero a Dios que sin sus bendiciones nada es posible.

A mi vida, mi hijo Carlos Ausberto y a mi amado, Jaime Antonio, que es mi bastón en los tropiezos y mi apoyo incondicional.

A mis padres Chaya y Goyo que siempre son la luz al final del túnel, como guías y voz de aliento, a mi hermana Analía y sobrino Carlos Gregorio (mi peón estrella), a mi hermano Grego y mi sobrino Ito, a mis tías y tíos en quienes siempre encuentro buenos consejos y apoyo.

A mi prima Marilyn "China" que es una fiel e incomparable amiga y como hermana.

AGRADECIMIENTO

A Dios que siempre ha estado a mi lado, que ha sido mi roca y muy bondadoso poniendo en mi vida tantas personas maravillosas y de gran corazón, los que granito a granito me han hecho crecer más y más como persona y realizarme como profesional, regalándome su cariño, apoyo, experiencias y conocimientos.

Al programa GAMMA y principalmente a los miembros de mi comité por todo su apoyo: Muhammad Ibrahim, Claudia Sepulveda, Cristobal Villanueva, y muy especialmente a Diego Tobar y Leonardo Guerra por su paciencia ya que han sido más que asesores, mis amigos.

El personal del CATIE en especial a Juanito, Aranjid, Noily, Jeannette, Alfonso, Alex, Jorge, Carmencita, Baudilio y Valerín quienes con su amabilidad hicieron grato cada instante que compartimos.

A todos mis compañeros de IDIAP Azuero, en especial a Esteban Ruíz, Nivaldo Degracia, Benigno Guerrero, Domiciano Herrera, David Urriola, José Gómez, y más que especialmente al Dr. Jorge Aued por todo su apoyo.

A los compañeros del MIDA región de Herrera y Los Santos, en especial los técnicos Daniel Osorio, Diógenes Paz y Javier De Gracia, por su apoyo y tiempo.

A los productores Antonio Brandao y Sra., Juan Giron y familia, Milciades Castellero, Edgardo Melgar y familia, Oscar Mendieta y Belarmino Visueti por su disposición en las fincas.

A mis compañeros y amigos de la promoción 2009-2010, quienes en todo momento se empeñaron en ser más que compañeros “*diay*” siendo concejeros, bastones, hermanos al estilo ecuatoriano “Ñañ@s”.

A mi personal de campo Deyvis, Reyes, Rogelio, Fermín y Ricardo, por su colaboración.

Agradezco especialmente a el señor Tito Afú, la señora Eleida y a Carla, por ser la mejor familia que puede tener mi hijo y haberme apoyado en todo momento y de tantas maneras, mil gracias...

De manera más que especial y eternamente a toda mi familia, que son un pocotón de gente, por su paciencia, sacrificios y apoyo. Por esas palabras alicientes, por las llamadas cuando más los necesitaba, por ser mi familia con tantas virtudes y divertidos defectos.

.....Mil gracias a todos, tiene cada uno un lugar muy especial en mi vida y que Dios les bendiga.....

CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	IV
CONTENIDO	V
RESUMEN	VII
SUMMARY	X
ÍNDICE DE CUADROS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVII
LISTA DE SIGLAS	XVIII
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Objetivos del estudio	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3 Preguntas de investigación	5
2 REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Pregunta de investigación.....	6
2.2 Importancia del sector ganadero y su relación a las emisiones de GEI	7
2.2.1 Los sistemas silvopastoriles y los servicios ecosistémicos	8
2.3 Cobertura forestal de Panamá.....	10
2.3.1 Panamá y las emisiones de gases de efecto invernadero.....	12
2.3.2 Generalidades del Sistemas doble propósito en Panamá	15
2.4 Análisis del ciclo de vida para la construcción de la huella de carbono	16
2.4.1 La Huella Ecológica y la Huella de Carbono	16
2.4.2 Aplicación del Análisis del ciclo de Vida	17
2.5 Mitigación.....	19
2.6 Valoración económica.....	20
3 BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	21
CAPÍTULO 1. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN LA PRODUCCIÓN DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ	
1 INTRODUCCIÓN	27
1.1 Objetivos.....	29
1.2 Preguntas de investigación	29
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
2.1 Área de estudio	30
2.1.1 Selección de las fincas.....	30
2.2 Proceso de emisiones	31
2.3 Variables productivas de la finca.....	32
2.3.1 Producción forrajera.....	32
2.3.2 Productividad animal	33
2.3.3 Supuestos para la cuantificación de las emisiones de GEI en el SDP.	34

2.4	Emisiones de gases de efecto invernadero	34
2.4.1	Emisiones de CH ₄ procedentes de la fermentación entérica	35
2.4.2	Emisiones de CH ₄ y N ₂ O por la producción y tipo de manejo del estiércol	36
	Emisiones de metano	36
	Emisiones de N ₂ O por la producción y manejo de estiércol	37
2.4.3	Emisiones por utilización de insumos externos	39
	Emisiones de GEI procedentes del uso de combustibles fósiles	41
2.5	Análisis del ciclo de vida.....	41
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
3.1	Tipificación y caracterización del Sistema doble propósito.....	44
3.1.1	Características de las fincas seleccionadas.....	45
	Fincas con manejo tradicional (FMT):.....	45
	Fincas con manejo mejorado (FMM):	48
3.1.2	Emisiones de CH ₄ por fermentación entérica.....	51
3.1.3	Emisiones de CH ₄ y N ₂ O por los residuos animales.....	54
	Emisiones de CH ₄ por residuos.....	54
	Emisiones de N ₂ O por residuos	57
	Emisiones totales por proceso animal en CO ₂ e	59
3.1.4	Emisiones por insumos agropecuarios y consumo de combustible fósil en CO ₂ e.	
	63
	Emisiones totales de GEI de las fincas evaluadas del sistema doble propósito	66
	Esquemas de las emisiones en la cadena de producción según tipo manejo de finca. ..	68
3.1.5	Resultados de las emisiones a través del ACV del SDP.	69
4	CONCLUSIONES.....	70
5	RECOMENDACIONES.....	71
6	BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	71

CAPITULO 2. ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN FINCAS GANADERAS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ..... 76

1	INTRODUCCIÓN.....	76
1.1	Objetivos.....	77
1.2	Pregunta de investigación.....	77
2	MATERIALES Y METODOS.....	78
2.1	Localización.....	78
2.2	Muestra y componentes del sistema a evaluar en la captura de carbono	78
2.2.1	Muestreo.....	79
2.2.2	Carbono en suelo en diferentes usos de suelo	80
2.2.3	Análisis estadísticos	83
2.2.4	Biomasa y carbono sobre el suelo.....	83
	Producción de biomasa de pasturas	83
	Árboles dispersos y tacotal:.....	85
	Corredores ribereños	85
	Cercas vivas (CV):.....	86
2.2.5	Ecuaciones alométricas para estimar biomasa arbórea	86

2.2.6	Carbono en la biomasa	87
2.2.7	Modelación en CO ₂ Fix para estimar Carbono	87
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	88
3.1	Determinación de los tipos de uso y cobertura del suelo:	88
3.2	VARIABLES DEL SUELO Y CARBONO ALMACENADO	92
3.2.1	Textura del suelo y pH	92
3.2.2	Densidad aparente (DA)	92
3.2.3	Materia orgánica (MO)	94
3.2.4	Carbono orgánico en el suelo (COS)	94
3.3	Captura de carbono en biomasa área	97
3.3.1	Producción de biomasa arriba del suelo	98
3.3.2	Carbono en el estrato forrajero y arbóreo	99
3.4	Carbono total del sistema	100
3.5	Modelación de los datos	102
3.6	Tasa de Flujo de carbono	103
4	CONCLUSIONES	105
5	RECOMENDACIONES	106
6	BIBLIOGRAFIA CITADA	106

CAPITULO 3. BALANCES DE GEI EN FINCAS GANADERAS DOBLE PROPÓSITO Y ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN EN LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ 113

1	INTRODUCCION	113
1.1	Objetivos	114
1.2	Preguntas de investigación	114
2	MATERIALES Y METODOS	115
2.1	Ubicación de fincas	115
2.2	VARIABLES A EVALUAR PARA EL BALANCE DE GEI	115
2.2.1	Modelación de estrategias de mitigación	117
	Valoración en estrategias de mitigación	117
2.3	Supuestos para el balance	119
3	RESULTADOS Y DISCUSION	120
3.1	Tipología de fincas	120
3.1.1	120
3.2	BALANCE DE GEI EN FINCAS DE SDP DE AZUERO	121
	Valoración en estrategias de mitigación	130
4	CONCLUSIONES	134
5	RECOMENDACIONES	135
6	BIBLIOGRAFIA CITADA	136
	ANEXOS	138

Palabras claves: metano, dióxido de carbono, óxido nítrico, suelos, sistema tradicional, emisión, inventario, silvopastoril, doble propósito, ganadería.

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue analizar el ciclo de vida en la producción de leche y la dinámica de los gases de efecto invernadero con relación al potencial natural en fincas productoras del sistema doble propósito en la península de Azuero. El área del estudio está ubicada en la zona pacífico sur, cuya zona de vida según la clasificación de Holdridge se encuentra entre, bosque húmedo premontano, bosque seco premontano y bosque seco tropical, con una precipitación anual de 1100mm, y temperatura media de 28°C.

En el primer capítulo, se determinaron las emisiones totales de gases de efecto invernadero de fincas del sistema doble propósito, y se analizó el ciclo de vida de la producción de leche como producto principal y de la producción de carne en terneros lactantes como producto secundario. El estudio se desarrolló en fincas de productores, con dos tipos de manejo: tradicional y mejorado; en total se analizaron seis fincas, tres por cada tipo de manejo. La metodología empleada se basó en las directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC 2006) y se utilizó el software SimaPro 7.2 para la estimación de factores de emisión por fabricación de insumos. Los resultados demostraron que la mayor emisión según tipo de gas se concentra en las emisiones de metano por fermentación entérica (CH₄), cerca del 90% para las fincas de manejo tradicional y del 80% para las fincas de manejo mejorado. Las emisiones promedio según tipo de manejo y categoría animal de vacas lactantes, sementales, vacas secas, novillas >2 años, novillas de 1 año y crías lactantes, fueron en las fincas de manejo tradicional de 0.330; 0.269; 0.231; 0.132; 0.048 y 0.59 kg CH₄ animal⁻¹ día⁻¹ y para las fincas de manejo mejorado 0.221; 0.192; 0.152; 0.129; 0.129 y 0.049 kg CH₄ animal⁻¹ día⁻¹ respectivamente a cada categoría, siendo las categorías de mayor emisión las vacas, sementales y novillas >2 años; el mismo comportamiento respecto a las categorías de mayor emisión se observó en las emisiones por residuos de CH₄ y N₂O. Al estandarizar las emisiones totales de cada gas a CO₂e (equivalente) la mayor emisión se obtuvo en los animales adultos como vacas lactantes, vacas secas, sementales y novillas >2 años en las fincas de manejo

tradicional con 3.03; 2.10; 0.822 y 0.715 t CO₂e animal⁻¹ año⁻¹, y para la finca de manejo mejorado fueron de 1.42; 1.04; 0.971 y 1.14 t CO₂e animal⁻¹ año⁻¹ respectivamente. También, se observó un efecto de la estacionalidad en el incremento de las emisiones, principalmente en la época seca y más marcada en las fincas de manejo tradicional. Del análisis del ciclo de vida, resultó que las fincas de manejo tradicional obtuvieron la mayor emisión por unidad de producto (leche y carne), siendo de 2.45 y 3.69 kg de CO₂e GPCL y para las fincas de manejo mejorado entre 1.08 y 1.57 kg de CO₂e GPCL. Las emisiones de terneros lactantes por la producción de carne según fincas de manejo tradicional y fincas de manejo mejorado fue entre 12.03 y 21.81 Kg de CO₂e GPV, y entre 10.83 y 10.27 Kg de CO₂e GPV respectivamente.

En el segundo capítulo, se estimó la capacidad de remoción y almacenamiento de carbono según tipo de usos de suelo en las fincas analizadas, donde se identificaron los siguientes usos de suelo: pasturas naturales degradadas; pasturas mejoradas; pasturas mejoradas con baja densidad de árboles (<30 árboles ha⁻¹); corredores ribereños; tacotal; bancos forrajeros (gramíneas) y cercas vivas. La metodología aplicada para la estimación del carbono en el suelo, incluyó muestras de suelo a través de calicatas en el centro de la parcela, utilizando tres profundidades (0-10 cm; 10.1-20 cm y 20.1-40 cm) para determinar la materia orgánica del suelo y la densidad aparente. Para la estimación de carbono en la biomasa sobre el suelo se contemplaron dos componentes, el forrajero y el arbóreo. Los resultados demostraron que el tacotal fue el de mayor stock de carbono orgánico del suelo con 104.47 t C ha⁻¹, y siendo la pasturas naturales degradadas las de menor stock de carbono orgánico en el suelo con 55.85 t C ha⁻¹. Del carbono almacenado en la biomasa, las cercas vivas presentaron el contenido mayor con 56.23 t C km⁻¹; para las áreas de producción de forraje, los bancos forrajeros obtuvieron en carbono almacenado 21.48 t C ha⁻¹ en comparación con las áreas de pastoreo donde las pasturas naturales degradadas tienen menor volumen en carbono almacenado con 1.90 t C ha⁻¹. Para el carbono total almacenado (carbono de biomasa sobre el suelo más carbono orgánico del suelo) en cada tipo de uso de suelo: cercas vivas, corredor ribereño, tacotal, banco forrajero, pasturas mejoradas con baja densidad de árboles, pasturas mejoradas (monocultivo) y pasturas naturales degradadas, se obtuvo 145.37; 141.72; 131.54; 100.42; 82.05; 77.62 y 57.75 t C ha⁻¹ o km⁻¹ respectivamente; el flujo de carbono obtenido según el orden anterior de los usos de suelo, fue de 4.47; 2.48; 4.01; 2.97; 2.12 y 1.83 t C ha⁻¹

año⁻¹ y el flujo de las pasturas naturales degradadas se estimó a través de una modelación en CO₂fix donde se obtuvo -0.77 t C ha⁻¹ año⁻¹.

En el tercer capítulo, se realizó el balance de gases de efecto invernadero para las seis fincas analizadas, empleando los resultados de los capítulos anteriores. A través de la diferencia entre las emisiones de GEI ha⁻¹ año⁻¹ y el potencial en remoción de GEI ha⁻¹ año⁻¹, las tres fincas de manejo tradicional obtuvieron un balance negativo con una deuda de carbono entre -1.10 y -5.27 t CO₂e ha⁻¹, principalmente influenciado por la presencia de pasturas degradadas que presentaron tasa negativa, a diferencia de las fincas de manejo mejorado que presentaron un balance de GEI positivo (remociones mayores que las emisiones) entre 0.80 y 2.79 t CO₂e ha⁻¹. En la valoración de estrategias de mitigación para dos de las fincas de manejo tradicional con balance negativo, se realizó una modelación para la mitigación de GEI, la cual se basó en la transformación de áreas de pasto natural degradadas a pasturas mejoradas con presencia de árboles (sistemas silvopastoriles) y mejora genética. Obteniéndose un balance positivo en ambas fincas y un costo de mitigación entre \$11.22 a \$20.82 US t⁻¹ CO₂e, dependiendo de la estrategia.

SUMMARY

The study analyzes the life cycle of milk production and the dynamics of greenhouse gases in relation to the natural assets in dual purpose milk farms from Azuero, Panamá Republic. The study area is located in the south pacific zone, according to the Holdridge classification is found among premontane humid forest, premontane dry forest and tropical dry forest, with an average annual precipitation of 1100 mm, and average annual temperature of 28°C.

In the first chapter, the total emissions of greenhouse gases from the farms were determined; the life cycle of milk production was analyzed like main product and the life cycle of meat production in nursing calves as a secondary product. The study was developed in farms of producers, with two types of management: traditional and improved; on the whole six farms were analyzed, three by each type of management. The employed methodology was based on the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2006) and

the SimaPro 7,2 software was utilized for the emission factors estimation by production of supplies. The results showed that the greater emission according to type of gas, concentrates on the emissions of methane (CH₄) by enteric fermentation, near the 90% for the farms of traditional management and of the 80% for the farms of improved management. The average emissions according to type of management and animal category: lactating cows, stud bulls, dry cows, heifers >2 years, heifers of 1 year and calves, resulted in the farms of traditional management 0,330; 0,269; 0,231; 0,132; 0,048 and 0,59 kg CH₄ animal⁻¹ day⁻¹, while for the farms of improved management 0,221; 0,192; 0,152; 0,129; 0,129 and 0,049 kg CH₄ animal⁻¹ day⁻¹ respectively to each category, being the categories of greater emission the lactating cows, stud bulls and heifers >2 years; the same behavior respect to the categories of greater emission was observed in the emissions by residues of CH₄ and N₂O. Upon standardizing the total emissions of each gas to CO₂e (equivalent), the greater emission was obtained in the adult animals as lactating cows, stud bulls, dry cows and heifers >2 year in the farms of traditional management with 3,03; 2,10; 0,822 and 0,715 t CO₂e animal⁻¹ year⁻¹ and for the farm of improved management they were of 1,42; 1,04; 0,971y 1,14 t CO₂e animal⁻¹ year⁻¹ respectively. Also, an effect of the seasonally in the increment of the emissions was observed chiefly more marked in the dries period within the farms of traditional management. From the life cycle analysis, it so happened that the farms of traditional management obtained the greater emission by unit of product (milk and meat), being of 2,45 and 3,69 kg of CO₂e FPCM and for the farms of improved management between 1,08 and 1,57 kg of CO₂e FPCM. The emissions of calves by the production of meat according to farms of traditional management and farms of improved management was between 12,03 and 21.81 Kg deCO₂e LWG, and between 10,83 and 10,27 Kg deCO₂e LWG respectively.

In the second chapter, the capacity of carbon storage according to soil uses types was estimated; in the farms were identified the following soil uses: degraded natural pastures; improved pastures; improved pastures with low density of trees (<30 trees ha⁻¹); riparian corridor; bush forest; fodder banks and live fences. The applied methodology to estimate the carbon on the ground, included soil samples through three depths (0-10 cm; 10.1-20 cm and 20,1-40 cm) to determine the organic matter of the soil and the apparent density. For the estimation of carbon in the biomass over the soil, were contemplated two components: the fodder and the arboreal. The results showed that the bush forest had the greater stock of

organic carbon from the soil with 104,47 t C ha⁻¹, and the degraded natural pastures had the smaller stock of organic carbon on the ground with 55,85 t C ha⁻¹. Of the carbon stored in the biomass, the live fences presented the greater content with 56,23 t C km⁻¹; for the fodder production areas the fodder banks obtained in carbon stored 21,48 t ha⁻¹ in comparison with the grazing areas where the degraded natural pastures had smaller volume in carbon storage with 1,90 t C ha⁻¹. For the total carbon stored in each soil use type: live fences, riparian corridor, bush forest, fodder bank, improved pastures with low density of trees, improved pastures and degraded natural pastures, was obtained 145,37; 141,72; 131,54; 100,42; 82,05; 77,62 and 57,75 t C ha⁻¹ or km⁻¹ respectively; the flow of carbon obtained according to the previous order of soil use type, was of 4,47; 2,48; 4,01; 2,97; 2,12 and 1,83 t C ha⁻¹ year⁻¹, and the flow of the degraded natural pastures was estimated through a model in CO₂fix software where was obtained -0.77 t C ha⁻¹ year⁻¹.

The third chapter develops the balance of greenhouse gases for the six analyzed farms, employing the results of the previous chapters. Through the difference among the emissions of greenhouse gases ha⁻¹ year⁻¹ and the potential in removal of greenhouse gases ha⁻¹ year⁻¹, the three farms of traditional management obtained negative balance with a debt of carbon between -1.10 and -5.27 t CO₂e ha⁻¹, chiefly influenced by the presence of degraded pastures that presented negative rate, as opposed to the farms of improved management that presented a positive balance of greenhouse gases (greater removals that the emissions) between 0,80 and 2,79 t CO₂e ha⁻¹. In the mitigation strategies assessment for two farms of traditional management with negative balance, a model for the mitigation of greenhouse gases was carried out, which was based on the transformation of degraded natural pasture areas to improved pastures with presence of trees (silvopastoral systems) and genetic improvement. Being obtained a positive balance in both farms and a cost of mitigation among \$11,22 to \$ 20,82 US t⁻¹ CO₂e, depending on the strategy.

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. TASAS DE REMOCIÓN ANUAL EN DISTINTOS USOS DE SUELO EN LA ZONA DE ESPARZA,	10
CUADRO 2. SÍNTESIS DEL PRIMER INVENTARIO NACIONAL DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE PANAMÁ-INGEI CON AÑO BASE 1994 (GIGAGRAMOS).	13
CUADRO 3. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ACV PARA OBTENER EL CO ₂ E POR KG DE LECHE O SUB PRODUCTOS.	19
CUADRO 4. CARACTERÍSTICAS DE LAS FINCAS DE MANEJO TRADICIONAL DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ	46
CUADRO 5. USOS DE SUELOS PRESENTES EN FINCA DE MANEJO TRADICIONAL DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ	46
CUADRO 6. APORTE DE LA ALIMENTACIÓN CONSUMIDA POR LOS ANIMALES DE LAS FINCA DE MANEJO TRADICIONAL DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ	47
CUADRO 7. CARACTERÍSTICAS DE LAS FINCAS DE MANEJO MEJORADO DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ	49
CUADRO 8. USOS DE SUELOS PRESENTES EN FINCA DE MANEJO MEJORADO DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO EN PANAMÁ	49
CUADRO 9. APORTE DE LA ALIMENTACIÓN CONSUMIDA POR LOS ANIMALES DE LAS FINCAS DE MANEJO MEJORADO DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE AZUERO, PANAMÁ	50
CUADRO 10. EMISIONES DE CH ₄ KG ANIMAL ⁻¹ DÍA ⁻¹ POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA DE FMT DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE AZUERO, PANAMÁ.....	51
CUADRO 11. EMISIONES DE CH ₄ KG ANIMAL ⁻¹ DÍA ⁻¹ POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA DE FMM DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE AZUERO, PANAMÁ.....	51
CUADRO 12. EMISIONES DE CH ₄ KG ANIMAL ⁻¹ DÍA ⁻¹ POR RESIDUOS SEGÚN ÉPOCA EN LAS FMT DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE AZUERO, PANAMÁ.....	55
CUADRO 13. EMISIONES DE CH ₄ KG ANIMAL ⁻¹ DÍA ⁻¹ POR RESIDUOS SEGÚN ÉPOCA EN LAS FMM DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE AZUERO, PANAMÁ.....	55
CUADRO 14. EMISIONES DE N ₂ O KG ANIMAL ⁻¹ DÍA ⁻¹ POR RESIDUOS SEGÚN ÉPOCA EN LAS FMT DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	57
CUADRO 15. EMISIONES DE N ₂ O KG ANIMAL ⁻¹ DÍA ⁻¹ POR RESIDUOS SEGÚN ÉPOCA EN LAS FMM DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	57
CUADRO 16. PROMEDIO DE EMISIONES ANIMALES TOTALES EN KGCO ₂ E AÑO ⁻¹ SEGÚN CATEGORÍA Y TIPO DE GAS DE LAS FMT DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.	60
CUADRO 17. PROMEDIO DE EMISIONES ANIMALES TOTALES KGCO ₂ E AÑO ⁻¹ SEGÚN CATEGORÍA Y TIPO DE GAS DE LAS FMM DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.	60
CUADRO 18. EMISIONES POR PROCESOS Y USO DE AGROQUÍMICOS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ	62
CUADRO 19. VOLUMEN DE AGROQUÍMICOS Y EMISIONES POR FINCA DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.	62
CUADRO 20. FACTORES DE EMISIÓN SEGÚN EL IPCC 2006 POR TIPO DE COMBUSTIBLE FÓSILES.	63
CUADRO 21. CONSUMO Y EMISIÓN POR USO DE COMBUSTIBLE FÓSILES ANUALES DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE AZUERO, PANAMÁ.	63
CUADRO 22. FACTOR DE EMISIÓN POR PRODUCCIÓN DE INGREDIENTES DE CONCENTRADOS A PARTIR DE FACTORES DE SIMA PRO 7.2	64
CUADRO 23. CONSUMO Y EMISIÓN POR CONSUMO DE CONCENTRADO ANUAL DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ	64
CUADRO 24. ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES POR PRODUCIR 1 KG DE LECHE O 1 KG DE CARNE DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN LA REGIÓN DE AZUERO, PANAMÁ.	69
CUADRO 25. ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR LA BIOMASA AÉREA DE ÁRBOLES.....	87
CUADRO 26. DATOS CLIMÁTICOS DE LA REGIÓN DE AZUERO PARA EL AÑO 2010. ETESA- PANAMÁ	88
CUADRO 27. TIPOS DE USO DE SUELO Y CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS EN EL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.	90

CUADRO 28. DENSIDADES APARENTE SEGÚN TIPO DE USO DE SUELO PRESENTE EN LAS FINCAS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ	93
CUADRO 29. CONTENIDO DE MO EN EL SUELO EN LAS TRES PROFUNDIDADES SEGÚN TIPOS DE USO DE SUELO EN FINCAS DEL SDP DE AZUERO, PANAMÁ.	94
CUADRO 30. CONTENIDO DE COS SEGÚN PROFUNDIDAD Y TIPOS DE USO DE SUELO EN FINCAS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	95
CUADRO 31. FLUJO DE CARBONO TOTAL DEL SISTEMA POR AÑO, EN LOS TIPOS DE USO DE SUELO PRESENTES EN LAS FINCAS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE AZUERO, PANAMÁ.	104
CUADRO 32. TASA DE FLUJO DE CO ₂ E EN LOS TIPOS DE USO DE SUELO EVALUADO DE LAS FINCAS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN AZUERO, PANAMÁ.	120
CUADRO 33. COMPOSICIÓN DEL HATO EN LA FINCA DE MANEJO TRADICIONAL (FMT1)	121
CUADRO 34. USOS DE SUELOS PARA COMPENSACIÓN DE GEI PARA LA FINCA DE MANEJO TRADICIONAL (FMT1)	121
CUADRO 35. COMPOSICIÓN DEL HATO EN LA FINCA DE MANEJO TRADICIONAL (FMT2)	122
CUADRO 36. USOS DE SUELOS PARA COMPENSACIÓN DE GEI PARA LA FINCA DE MANEJO TRADICIONAL FMT2 ..	123
CUADRO 37. COMPOSICIÓN DEL HATO EN LA FINCA DE MANEJO TRADICIONAL (FMT3)	124
CUADRO 38. USOS DE SUELOS PARA COMPENSACIÓN DE GEI PARA LA FINCA DE MANEJO TRADICIONAL FMT3 ..	124
CUADRO 39. COMPOSICIÓN DEL HATO EN LA FINCA DE MANEJO TRADICIONAL (FMM1)	125
CUADRO 40. USOS DE SUELOS PARA COMPENSACIÓN DE GEI PARA LA FINCA DE MANEJO MEJORADO FMM1	125
CUADRO 41. COMPOSICIÓN DEL HATO EN LA FINCA DE MANEJO TRADICIONAL (FMM2)	126
CUADRO 42. USOS DE SUELOS PARA COMPENSACIÓN DE GEI PARA LA FMM2.....	127
CUADRO 43. COMPOSICIÓN DEL HATO EN LA FINCA DE MANEJO TRADICIONAL (FMM3)	128
CUADRO 44. USOS DE SUELOS PARA COMPENSACIÓN DE GEI PARA LA FINCA DE MANEJO MEJORADO (FMM3) ...	128
CUADRO 45. INDICADORES PRODUCTIVOS DE LÍNEA BASE CON MODELACIÓN DE MEJORAS DE 3 HA	131
CUADRO 46. INDICADORES PRODUCTIVOS DE LÍNEA BASE CON MODELACIÓN DE MEJORAS EN 3 HA	132
CUADRO 47. INDICADORES PRODUCTIVOS DE LÍNEA BASE Y DE MODELACIÓN DE MEJORAS EN 3 HA.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EN PANAMÁ (FUENTE CATHALAC 2004)	30
FIGURA 2. ETAPAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LECHE, INCLUYENDO LOS PROCESOS DENTRO Y FUERA DE LA FINCA.....	32
FIGURA 3. DIAGRAMA DE FLUJO DE GEI PARA LA PRODUCCIÓN DE LOS SDP.....	43
FIGURA 4. EMISIÓN EN KG CH ₄ POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA UA ⁻¹ EPOCA ⁻¹ DE FMT DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	53
FIGURA 5. EMISIÓN DE CH ₄ POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA KG UA ⁻¹ EPOCA ⁻¹ DE FMM DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	54
FIGURA 6. EMISIÓN DE CH ₄ POR RESIDUOS UA ⁻¹ EPOCA ⁻¹ DE FMT DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE FINCAS DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	56
FIGURA 7. EMISIÓN DE CH ₄ POR RESIDUOS UA ⁻¹ EPOCA ⁻¹ FMM DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE FINCAS DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	56
FIGURA 8. EMISIONES DE N ₂ O POR RESIDUOS UA ⁻¹ EPOCA ⁻¹ DE FMT DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE FINCAS DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	58
FIGURA 9. EMISIONES DE N ₂ O POR RESIDUOS UA ⁻¹ EPOCA ⁻¹ DE FMM DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE FINCAS DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	58
FIGURA 10. PORCENTAJE POR PRODUCCIÓN DE GAS SEGÚN TIPO DE MANEJO DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE FINCAS DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	61
FIGURA 11. EMISIONES TOTALES POR INSUMOS EXTERNOS Y TRANSPORTE SEGÚN EL TIPO DE MANEJO EN FINCAS Y ÉPOCA DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	65
FIGURA 12. EMISIONES TOTALES UA ⁻¹ AÑO ⁻¹ SEGÚN TIPO DE MANEJO DE FINCA.....	66
FIGURA 13. DISTRIBUCIÓN DE LAS EMISIONES SEGÚN SU ORIGEN Y TIPO DE MANEJO EN FINCA DEL SDP DE AZUERO, PANAMÁ.....	67
FIGURA 14. DIAGRAMA DE LA CADENA DE PRODUCCIÓN EN LA FMT.....	68
FIGURA 15. DIAGRAMA DE LA CADENA DE PRODUCCIÓN EN LA FMM.....	69
FIGURA 16. ESQUEMA DE LOS SISTEMAS INCLUIDOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA REMOCIÓN Y CAPTURA DE CARBONO EN LOS USOS DE SUELOS PRESENTE EN EL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE AZUERO, PANAMÁ 2010.....	79
FIGURA 17. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL DISEÑO DEL MUESTREO PARA INVENTARIO DEL CARBONO EN EL SUELO.....	81
FIGURA 18. CALICATAS EN TRES TIPOS DE USO DE SUELOS ENCONTRADOS EN LAS FINCAS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA REGIÓN DE AZUERO, PANAMÁ.....	81
FIGURA 19. DIAGRAMA DE TRANSEPTOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE PASTOS EN POTREROS.....	84
FIGURA 20. ESQUEMA DE PARCELA CIRCULAR PARA TACOTAL Y ÁRBOLES DISPERSOS.....	85
FIGURA 21. PARCELA DEMOSTRATIVA PARA INVENTARIO FORESTAL EN CORREDOR RIBEREÑO.....	86
FIGURA 22. PORCENTAJE DE COBERTURA BOSCOVA EN PANAMÁ PARA AÑO 2000, ANAM 2010.....	89
FIGURA 23. PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA EN MATERIA SECA T HA ⁻¹ AÑO ⁻¹ , SEGÚN COBERTURA DE SUELO EN FINCAS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	98
FIGURA 24. CARBONO EN BIOMASA AÉREA EN T HA ⁻¹ AÑO ⁻¹ SEGÚN TIPO DE USO DE SUELO EN FINCAS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	99
FIGURA 25. CARBONO TOTAL ALMACENADO EN T HA ⁻¹ EN EL TIPO DE USO DE SUELO EN EL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	101
FIGURA 26. MODELACIÓN POTENCIAL DEL FLUJO DE CARBONO EN PASTURAS DEGRADADAS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ.....	103
FIGURA 27. VALOR ECONÓMICO DE UN RECURSO NATURAL EN EL CONTEXTO DE LA GANADERÍA.....	117
FIGURA 28. BALANCE DE GEI DE LA FINCA DE MANEJO TRADICIONAL (FIM1) DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN AZUERO, PANAMÁ.....	122
FIGURA 29. BALANCE DE GEI DE LA FINCA DE MANEJO TRADICIONAL (FIM2) DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN AZUERO, PANAMÁ.....	123

FIGURA 30. BALANCE DE GEI POR HECTÁREA EN FINCAS DE MANEJO TRADICIONAL (FMT3) DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN AZUERO, PANAMÁ.....	124
FIGURA 31. BALANCE POR HECTÁREA DE GEI DE LAS FINCAS DE MANEJO MEJORADO (FMM1) DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN AZUERO, PANAMÁ.....	126
FIGURA 32. BALANCE DE GEI DE LA FINCA DE MANEJO MEJORADO (FMM2) DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN AZUERO, PANAMÁ.....	127
FIGURA 33. BALANCE DE GEI DE LA FINCA DE MANEJO MEJORADO (FMM3) DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN AZUERO, PANAMÁ.....	129

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 CONGLOMERADO PARA SELECCIÓN DE FINCAS.....	139
ANEXO 2 ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE AZUERO EN PANAMÁ	140
ANEXO 3. LABORATORIOS DE SUELO PARA LA DETERMINACIÓN DE MO DE LAS FINCAS DEL SDP EN AZUERO	141
ANEXO 4 LABORATORIOS DE SUELO PARA LA DETERMINACIÓN DE MO DE LAS FINCAS DEL SDP EN AZUERO.	142
ANEXO 5. ESTABLECIMIENTO DE PASTURAS MEJORADA CON CERO LABRANZA Y ESTABLECIMIENTO DE 100 ÁRBOLES, MADERABLES O FRUTALES (ALTA DENSIDAD)	143
ANEXO 6. ESTABLECIMIENTO DE 1 HA DE PASTO MEJORADO CON BAJA DENSIDAD DE ÁRBOLES MADERABLES O FRUTALES (20 ÁRBOLES).....	143
ANEXO 7. MEJORAS DE 300 M CERCA MUERTA POR CERCA VIVA DE GLIRICIDIA SP.	144
ANEXO 8. ESTABLECIMIENTO DE 0,5 HA DE UN BANCO FORRAJERO DE CAÑA.	144

LISTA DE SIGLAS

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
GEI: Gases de efecto invernadero
PK: Protocolo de Kyoto
COP: Conferencia de Partes
CO₂: dióxido de carbono
CO₂e: dióxido de carbono equivalente
C: carbono
CH₄: metano
N₂O: óxido nitroso
NO_x: óxido de nitrógeno
ACV: análisis del ciclo de vida
ANAM: Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá
t: toneladas
ha: hectáreas
CUTS: cambio de uso de tierra y silvicultura
CC: cambio climático
SDP: sistema doble propósito
ALyC: América latina y el Caribe
MIDA: Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá
MS: materia seca
PC: proteína cruda
EM: energía metabolizable
DIVMS: digestibilidad in vitro de la materia seca
FMT: fincas de manejo tradicional
FMM: fincas de manejo mejorados
FE: factor de emisión

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Uno de los grandes retos que enfrenta la humanidad es el fenómeno del cambio climático. Las políticas mundiales se enmarcan en la necesidad de crear conciencia, en que el cambio climático representa una emergencia mundial y su estabilización es un nuevo lente a través del que se deben ver las normas de producción. El clima y el nivel de emisiones de cada uno de los países en los próximos años será el agente imperante en la transformación de las reglas de desarrollo de la vida y economía global (COP13 2007).

En la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) de 1992, se estableció que la responsabilidad de los países es común, pero diferenciadas de acuerdo a su capacidad y estado de desarrollo. También se acordó como objetivo la estabilización de las concentraciones de Gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, de manera que permita disminuir la interferencia antropogénica del ser humano sobre el clima y minimizar los riesgos y efectos al ecosistema (Kanninen 2000 y Wakernager et ál 2001). Posterior a esto, se dio el Protocolo de Kyoto (PK) 1997 en donde se ratificó que el objetivo principal de la reducción de los GEI, por los países del Anexo 1, sería al menos del 5.2%, al 2012. Por lo que en la última década el cambio climático ha estado presente en la agenda de todos los países del planeta como uno de los renglones más importantes en medidas de reducción y de mitigación de GEI.

En Bali y Copenhague, la Conferencia de Partes 13 y 15 de la CMNUCC, que sirve como Reunión de las Partes del Protocolo de Kyoto (COP/MOP 3 por sus siglas en inglés), se plantea una nueva agenda post 2012 con objetivos a largo plazo y se llagan a acuerdos de adaptación a los efectos del cambio climático en: [1] La deforestación evitada, la conservación y la degradación de los bosques como forma de reducir el 20% de emisiones que supone este apartado; [2] Transferencia de tecnología a los países en desarrollo y empobrecidos para conseguir su progreso de manera limpia y sostenible; [3] El reconocimiento al trabajo del IPCC en el 4º Informe presentado durante el año 2007 siendo este de mucha importancia.

El IPCC 2007 y el Cuarto Informe de Evaluación, se enmarcan en el cambio del clima en los últimos 100 años, el cual es influenciado por el efecto de la actividad humana, que al

incrementar la demanda en los servicios del ecosistema, ejerce gran presión en la producción de fuentes de alimentos para el consumo humano y animal, agua, y combustibles fósiles, lo cual genera también un incremento igual en la producción de sustancias de desechos, excediendo la capacidad del planeta de regenerarse en casi 30%. Estos cambios antropogénicos en la concentraciones de los GEI se relacionan con el desarrollo de la era industrial, los cambios de uso de la tierra y las nuevas economías emergentes, causando directa e indirectamente un aumento en la concentración de GEI en la atmósfera, incrementando la temperatura media terrestre, y causando el desequilibrio del sistema climático (IPCC 2007).

El cambio de uso de la tierra, especialmente por la agricultura y la ganadería, es uno de los factores predominantes en América Latina relacionado al cambio climático. Los bosques tropicales de América Latina representan el 57% de los bosques del mundo. Por lo que es preocupante la situación dada con la deforestación anual de aproximadamente el 1% de estos bosques transformándolos en tierras productivas para la agricultura y la producción pecuaria (Steinfeld et ál 2006). La deforestación causada por cambios de uso de suelo, se origina principalmente por la conversión de áreas boscosas en sistemas agropecuarios donde se encuentran los sistemas ganaderos para la producción de piensos y pastizales, utilizados en la alimentación animal; además estos ocupan el 26% de la superficie de la tierra en la producción de pastos, y el 33% de la superficie agrícola en la producción de granos para piensos. Los efectos por la deforestación y la erosión de los suelos en el trópico, contribuyen con el 25% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), emitiendo de 10 a 30 millones de toneladas de carbono (C) por la disminución de la materia orgánica.

Aunado a esta deforestación se le suma el rol de la ganadería como fuente de emisión de GEI, a la cual se le atribuye un reglón importante entre una de las principales fuentes de emisión contribuyendo con 18% de la emisión globales de los GEI, y a la que se le responsabiliza directamente del incremento en otros dos gases de alto nivel de calentamiento global como es el metano (CH₄¹) y el óxido nitroso (N₂O²), producidos a través del proceso animal, manejo de residuos, intensificación tecnológica, uso de insumos exógenos

¹ La equivalencia de este gas a CO₂ es de 1 kg CH₄ = 21 kg CO₂, (IPCC 1996)

² La equivalencia de este gas a CO₂ es de 1 kg N₂O= 310 kg CO₂ (IPCC 1996)

(agroquímicos y combustibles), producción de las fuentes alimenticias y el potencial genético de los animales (Palm et ál. 2004; Houghthon 2003; Steinfeld et ál 2006). Las emisiones de metano (CH_4) están directamente influenciadas por la fermentación entérica, este gas contribuye al efecto invernadero cerca del 60% (Vellinga 2008). Un estudio de Siemes (2008) mostró que una vaca con una producción de leche de 8.200 kg por lactación (305 días) emite 233 kg de CH_4 por sí misma y 101 kg a través de estiércol, por lo que la nutrición y la gestión del estiércol son los dos procesos más importantes como fuentes de emisión dentro de la finca.

Como antes mencionamos las industrias ganaderas producen efectos colaterales que se propagan a lo largo de las líneas de producción, desde las enormes cantidades de granos para forraje hasta el tema de la eliminación de las montañas de estiércol (Villar 2006). En el ambiente subtropical los últimos años la ganadería extensiva ha sido señalada como una amenaza al medio ambiente, por lo que se han desarrollado instrumentos para medir el efecto de la producción sobre el medio ambiente, con técnicas como el análisis del ciclo de vida de los productos (ACV); esta es una metodología que identifica, cuantifica y caracteriza los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Básicamente, se enfoca al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que normalmente, se utilizan más rápido de lo que se reemplazan aunado a su relación con la emisión de GEI, lo que se le conoce como la huella del carbono (Romero 2003). La demanda de insumos externos y los procesos de intermediación en los sistemas ganaderos incrementan sustancialmente las emisiones de GEI, estos factores hacen del ACV de los productos una herramienta esencial para evaluar el impacto de la actividad ganadera en el fenómeno del cambio climático.

Se puede decir que la ganadería en Panamá no escapa de la influyente tendencia de la producción agropecuaria existente en América Latina, ocupando grandes extensiones de área con bajos índices de producción, la superficie dedicada a la ganadería en Panamá es de aproximadamente 1,384,455 ha, con una población bovina de 1,533,461 animales para una densidad aproximada de 1.1 animal ha^{-1} (IBEROCOM S.A. 2007 y ANAM 2005). Un aspecto importante es que estos sistemas productivos tienen una alta dependencia de la estacionalidad climática, lo que los hace vulnerables a las variaciones del mismo. Las características predominantes que los hacen ineficientes son: las pasturas de baja calidad, desbalance

nutricional de las dietas, pobre mejoramiento genético, con este enfoque de mitigación juega un rol importante la parte de incremento del capital natural como fuentes de sumidero de carbono, donde los SSP tienen un potencial de participación dentro de los modelos sostenibles de producción ganadera.

1.1 Planteamiento del problema

- Según la evidencia científica, a través de actividades de origen antropogénico se está dando un desbalance en los gases de efecto invernadero, lo que ha originado la inquietud a nivel político y económico para desarrollar estrategias de monitoreo con el fin de mitigar las emisiones en sistemas productivos intensivos en emisión, especialmente en el sistema ganadero.
- El incremento en la demanda de productos ganaderos ejerce una presión en la necesidad de ser productivamente más eficientes, sin embargo, la búsqueda de mayor productividad en sistemas ganaderos con inadecuados manejos en los recursos naturales, compromete la sostenibilidad ambiental del mismo, lo que hace necesario buscar estrategias integrales e sostenibilidad y producción.
- Siendo las emisiones de gases de efecto invernadero y la huella de carbono factores que inciden en la sostenibilidad de los sistemas ganaderos principalmente los de pastoreo extensivo con deficiencia en el manejo (alimenticia y sobrepastoreo), se considera el estudio de casos para comparar manejos existentes en sistemas doble propósito de Azuero a lo largo de la cadena de producción de leche y la producción de carne de los terneros lactantes.

1.2 Objetivos del estudio

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la dinámica de emisiones de gases de efecto invernadero según el tipo de manejo y su balance a lo largo de la cadena productiva en la producción de la leche a través de

la óptica del análisis del ciclo de vida de la leche en busca de la huella de carbono en el Sistema Doble Propósito de la región de Azuero en Panamá, según la época del año.

1.2.2 Objetivos específicos

- Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero en cada fase del proceso de producción de leche de las fincas.
- Esquematizar la cadena de producción de leche según las características de la finca y analizar el ciclo de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Identificar los insumos con mayor intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en la producción de leche del sistema doble propósito según la época del año.
- Determinar las emisiones de gases de efecto invernadero a través del Análisis del Ciclo de Vida para la producción del manejo del sistema doble propósito.
- Estimar el potencial que brinda el capital natural en relación al servicio ecosistémico de remoción y almacenamiento de carbono de cada finca.
- Valoración económica de estrategias de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero para los sistemas de producción observados.

1.3 Preguntas de investigación

- ¿Cómo influye la estacionalidad en las emisiones de gases de efecto invernadero por la utilización de insumos de producción?
- ¿Cómo influye el sistema de manejo implementado en la producción de leche con respecto a la emisión de gases de efecto invernadero?
- ¿Cuáles son las variables de diseño de la finca que inciden para la demanda de insumos externos?
- ¿Cuáles son las actividades que deben ser monitoreadas para mejorar las prácticas de manejo?

- ¿Cuáles son las emisiones totales del sistema doble propósito por la producción de 1 kg leche y 1 kg carne?
- ¿Cuáles son los límites del capital natural para compensar las emisiones de gases de efecto invernadero a distintos niveles de la cadena productiva?
- ¿Cuáles son las ventajas y limitaciones de las fincas en cuanto a su capacidad de mitigación?

2 REVISION DE LITERATURA

Durante las últimas décadas el crecimiento de la población humana ha incrementado la presión sobre los diferentes recursos naturales como el suelo, el agua, los bosques, ecosistemas marinos, entre otros; esta situación ha ocasionado una disminución en el potencial de los servicios prestados por el ecosistema y un incremento en las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) y su relación con el cambio climático. Estos servicios ecosistémicos comprenden interrelaciones entre los diferentes procesos como el climático, ambientales, económicos, políticos, institucionales, sociales y tecnológicos (Rischar 2002).

Como fuentes que afectan los servicios ecosistémicos se han señalado los procesos productivos manejados por el ser humano y su relación con el incremento antropogénico en la concentración de GEI, de esta manera se han tomado medidas a nivel global y se han desarrollado metodologías para medir los efectos de los sistemas a lo largo de la cadena de producción y así obtener este impacto y sus posibles soluciones, o estrategias de mitigación. En este capítulo se destacan los principales temas que se desarrollaran a lo largo de la investigación.

2.1 Pregunta de investigación

¿Qué debemos contemplar para medir el impacto en términos de GEI en la producción de un bien?

2.2 Importancia del sector ganadero y su relación a las emisiones de GEI

Es evidente la importancia de la agricultura como actividad económica y el impacto que esta ocasiona a los recursos naturales que son la base de su producción. Este sector representa el 40% del producto interno bruto (PIB), genera empleo para mil trescientos millones de personas y medios de subsistencia para mil millones de pobres en todo el mundo (Steinfeld et ál. 2006). Debido al crecimiento poblacional estimado para el año 2050 en 9,100 millones de habitantes, se estima un crecimiento del 70% en la producción de alimentos según la FAO. La producción ganadera suministra un tercio del consumo mundial de proteínas y se estima un incremento de la producción mundial de carne y de leche para el 2050 en un 50% de la producción del 2000 (Steinfeld et ál. 2006).

El incremento de productos procedentes de los sistemas ganaderos no solo se verá reflejado en volumen de alimentos sino también en los efectos a los recursos naturales de los que depende la producción. La relación directa del sistema está en la disminución de los servicios ecosistémicos por la acción del cambio de uso de suelo, la deforestación, degradación del suelo, de los recursos hídricos, y variación en el potencial del flujo de carbono (Pezo et ál. 1992; Szott et ál. 2000; FAO 2008; PNUMA 2006).

Actualmente a la ganadería como actividad productiva ocupa la mayor parte de la superficie terrestre, aproximadamente el 26% del área total libre de glaciares se utiliza para el pastoreo y el área para la producción de forraje representa el 33% del total de la tierra cultivable. El 20% de las praderas del mundo presentan grados de degradación por sobre pastoreo y en general se le señala como fuente de emisiones de CO₂ con el 18% de las emisiones totales de origen antropogénico (Steinfeld et ál. 2006).

La actividad ganadera se vincula directamente con el incremento de tres tipo de gases efecto invernadero como dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄) cuyo aporte esta en 37% , 9% y 65% respectivamente (Paustian et ál 2006; Steinfeld et ál. 2006; IPCC 2007; FAO 2008). Cada gas procede de diferente interface del sistema como: el CO₂ cuyo origen principal es la deforestación por el cambio de uso de suelo y quema de

combustible fósil para procesos de producción. El N₂O y el CH₄ son por utilización de fertilizantes y de origen en procesos animales como: digestivos del bovino y manejo del estiércol.

Las emisiones de CH₄ mundiales se estiman en 80 millones de toneladas anuales. El 33% de las emisiones se producen por fermentación entérica y por el manejo del estiércol (Beauchemin et ál 2008). El CH₄ es el GEI predominante en la actividad ganadera y su potencial de calentamiento global al equivalente en CO₂ es de 1 kg CH₄ = 21 kg CO₂ (IPCC 2001, Reid et ál 2004 y Vellinga 2008). El segundo gas más importante es el N₂O, este se genera en los residuos de las explotaciones ganaderas (estiércol, orina, aguas residuales) y la utilización de fertilizantes nitrogenados, el potencial de calentamiento global equivalente en CO₂ es de 1 kg N₂O = 310 kg CO₂. Estos factores de conversión actualmente se utilizan para informar sobre las emisiones bajo el Protocolo de Kyoto, aunque hay un debate sobre el calentamiento global específicamente de los potenciales que deben utilizarse (Foster et ál. citado por Castellón 2010).

Siendo muy discutido el rol de la ganadería en el calentamiento global también se resaltan las bondades de estos sistemas los cuales por la necesidad de llegar a ser sostenibles presentan grandes retos en manejo y producción, lograr un equilibrio entre las emisiones de GEI y el rol que puede cumplir como oferentes de servicios ecosistémicos dentro de un paradigma de agroecosistemas (Montenegro y Abarca 2001).

2.2.1 Los sistemas silvopastoriles y los servicios ecosistémicos

Según Caanziani (2009), los sistemas productivos manejados por el hombre además de producir alimentos y productos maderables, interactúan con el ecosistema para proveer también servicios como hábitat para especies, generación de energía, y purificación del aire, entre otros. En las explotaciones agrícolas sostenibles tenemos los sistemas agroforestales³ (SAF), con la opción donde se compatibilizan los objetivos productivos y la remoción de carbono, después de la regeneración natural y las plantaciones lineales. Dentro de los sistemas

³Agroforestería es el sistema donde normalmente se incluyen perennes leñosas con animales o cultivo en la misma unidad de tierra (Lundgren y Raintree 1982).

agroforestales se encuentran los sistemas silvopastoriles⁴ (SSP), siendo una de las técnicas de producción ganadera que favorece el incremento en la productividad animal y que presenta beneficios en la restauración de los suelos, protección de las fuente de agua, conservación de la biodiversidad y la remoción de GEI como agente modelador del clima (Mahecha 2002; Villanueva e Ibrahim 2002).

Investigadores como Ficher et ál. (1994), Ramírez (1998), Ávila et ál. (2001), Mahecha (2002) y Villanueva e Ibrahim (2002), señalan que existen mejoras evidentes en la remoción y almacenamiento de carbono con la implementación de sistemas silvopastoriles. Sin embargo, la capacidad del sistema en almacenamiento y remoción de carbono está relacionado a los estratos, composición y características del sitio (clima, relieve, entre otras), el tipo de pasto (natural o mejorado, leguminosas), tipo de suelo, y la concentración de N (Ficher y Trujillo 2000, Cameron 2000). La combinación de las plantas C3 y C4 incrementa la capacidad y producción de biomasa e inciden directamente en la recuperación del carbono orgánico fijado en el suelo (Montenegro y Abarca 2001).

Como resultado de investigaciones se ha evidenciado que la conversión de sistemas de monocultivos a agroforestales podría triplicar las existencias de carbono, de 23 t a 70 t ha⁻¹ en un período de 25 años (Robert 2002). En Costa Rica con sistemas de árboles dispersos y pasturas mejoradas se han obtenido valores entre 180 a 200 Mg carbono orgánico del suelo (COS) ha⁻¹ (López et ál. 1999), resultados similares a los obtenidos por Villanueva e Ibrahim (2002) en sistemas de mono cultivos y con *Alnus acuminata* de 184.6 y 202.9 t C ha⁻¹ respectivamente, en general Ibrahim et ál. (2007b), se refiere a que el carbono total del suelo en los SSP oscila entre 68 a 204 t ha⁻¹ afectados por tipos, densidad y distribución espacial de las especies en el sistema.

Ávila (2001) determinó que más del 89% del C almacenado en los sistemas correspondió al C del suelo. Según estudios de Andrade et ál. (2008) el suelo fue el mayor reservorio de carbono (27-74%), seguido de la biomasa arriba del suelo (15-57%). En el

⁴Los sistemas silvopastoriles (SSP) son un tipo de agroforestería. Entre los que se pueden mencionar: cercas vivas, banco forrajero de leñosas perennes, leñosas en callejones, árboles y arbustos dispersos en potreros, pastoreo en plantaciones de árboles maderables o frutales, barreras vivas y cortinas rompe vientos (Pezo 1999; Ibrahim 1999 y Andrade 1997).

proyecto GEF 2003, en sistemas silvopastoriles se obtuvieron variaciones entre 6.3 t C ha⁻¹ y 7.7 t C ha⁻¹ de las remociones anuales en charrales menores de 15 años. Las experiencias en campo han ayudado a modelar las tasas de remociones de carbono (Cuadro 1) y utilizando el software CO₂Fix se han encontrado tasas similares a las obtenidas en campo (GAMMA 2010).

Cuadro 1. Tasas de remoción anual en distintos usos de suelo en la zona de Esparza, Costa Rica

Cobertura del suelo	Dato investigación C t /ha	Modelación CO ₂ FIX C t/ ha o km
TACOTAL	6.3*	7.5
PNBD	1.1**	1.2
PNAD	1.36**	1.2
PMBD		1.8
PMAD	4.5***	3.1
PD		-0.04
PMSA		1.0
PNSA		0.04
CV(km)		1

*Segura, (2005); ** Zamora (2006); ***Vallejos (2006); **** Chacón (2006). Modelación Sylvia de las plantaciones forestales de CATIE (2007) PNBD: Pasturas naturales con baja densidad de árboles, PNAD: Pasturas naturales con alta densidad de árboles, PMBD: Pastura mejorada baja densidad de árboles, PMAD: Pastura mejorada alta densidad de árboles; PD: pasturas degradadas; PMSA: pasturas mejoradas sin árboles; PNSA: pasturas naturales sin árboles. Modificado de la tabla Esparza Guerra (2008)

La incorporación de árboles dentro del sistema no solo mejora los flujos de carbono, sino también incorpora materia orgánica al suelo favoreciendo la micro fauna, disminuye el estrés calórico de los animales y aporta al valor nutritivo de la ración y forraje, aspectos determinantes para disminuir la intensidad de GEI por parte del componente animal (Mahecha 2001, Carmona 2005 et ál).

2.3 Cobertura forestal de Panamá

La historia forestal de Panamá tiene muchos escollos, principalmente por el choque de los sistemas productivos agropecuarios con el bosque. Una de las primeras denuncias sobre la ganadería extensiva la realizó un importante sociólogo panameño llamado Stanley Heckadon Moreno (1978) quien menciona que “en Panamá la ganadería extensiva, es la actividad que mayor impacto está teniendo en el ambiente, la selva en particular y en la sociedad rural”. Esta

presión se ve acentuada por el incremento en la demanda de productos de origen animal y las malas prácticas de manejo que han ocasionado un impacto ambiental negativo.

La República de Panamá cuenta con una superficie boscosa para el año 2000 de aproximadamente 3,364,591 hectáreas (45% de la superficie total del país) y 921,553 ha de bosques intervenidos, ubicándose la mayoría de estos bosques en la vertiente atlántica del país ya que en la vertiente pacífica las actividades productivas del hombre han reducido la cobertura vegetal de esta área (GEO Panamá 2004). En Panamá hay 826,062 ha con potencial biofísico para reforestación de las cuales, 141,748 ha son aptas para plantaciones forestales las que se ubican en las provincias de Darién, Chiriquí y Veraguas. Para reforestación asistida⁵ son 684,313 ha las que se encuentran entre en las provincias de Veraguas, Chiriquí, Los Santos y Coclé (de lo que no se tiene información), con esto se estimó en Panamá un potencial de comercializar internacionalmente 80 millones de toneladas de CO₂ durante el periodo 2003-2012 (Hughes et ál. 2003).

A nivel legislativo la Ley General del Ambiente (Ley 41 de 1998) que integra lo forestal a la problemática ambiental, reconociendo la diversidad de bienes y servicios que el sector provee, aunado a lo enmarcado con el Protocolo de Kioto que contempla la remoción de carbono como un servicio ambiental, se da el marco perfecto para el desarrollo de proyectos inscritos en los mecanismos incluidos en el Artículo 12 de este protocolo. El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que entró en vigencia en el 2003 favoreció las prácticas de mitigación para el cambio climático refiriéndose al tema forestal y cambio de uso de suelo. De esta manera se creó el proyecto “Bosques y Cambio Climático en América Central”, con el propósito de ayudar a los países centroamericanos a desarrollar este potencial de mitigación frente al cambio climático donde se analizan el potencial de las tierras para la producción forestal de una región denominada “Área Kioto” (Hughes et ál 2003).

La entidad gubernamental Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) es la encargada de establecer la reglamentación y regulación de los recursos naturales, el impacto ambiental y mecanismos formales de participación ciudadana, enfocando los esfuerzos de la institución en

⁵ Reforestación asistida, aquellas mejoras en la cobertura arbórea que se realizan en conjunto con la ganadería, sistema silvopastoril

mantener las áreas con foresta y recuperar las áreas deforestadas. La ANAM publicó una ley de incentivos para reforestación (Ley 62 del 26 de septiembre 2002) con la cual se estima que fomenta a la reforestación de 1,000 a 1,800 ha anuales, con una tendencia a disminuir la tasa de deforestación de 1992 con 1.22% al 2010 con 1.02%, tendiendo esto a chocar con las áreas de producción agrícolas y la expansión de las mismas. (Hughes et ál 2003).

ANAM en el 2002 junto al Convenio de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación (CNULD) realizó un análisis del área con tendencia a la desertificación y alta degradación en Panamá, ya que estas características están directamente relacionadas al manejo de los recursos naturales, con el fin de desarrollan políticas estatales que promueven un plan denominado “Estrategia de conservación para el desarrollo sostenible 2008-2012”, creándose el comité de revisión de implementación de la Convención de sequia y desertificación del donde en el séptimo periodo de sesión se plantearon acciones en reforestación de las principales cuencas del país, crear indicadores de desertificación y sequias de Panamá (ANAM 2008a)

2.3.1 Panamá y las emisiones de gases de efecto invernadero

La importancia mundial que han tomado las consecuencias de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), se ha convertido en tema central de todas las agendas de cada país involucrado en el Protocolo de Kyoto, donde todos los países industrializados ratificantes se comprometieron en la reducción de las emisiones de GEI a nivel mundial en 5,2% por debajo de los niveles de 1990 durante el periodo 2008-2010 (Moss citado por Colombato 2007). Esto no implica que no sea una necesidad global y que deba ser un compromiso que incluya también a los países en vías de desarrollo.

Panamá parte del Anexo B⁶, solicitó en la Conferencia de las Partes 14 (COP14) que se diera el procedimiento para corregir los Anexos B (No – Anexo 1), para que adquieran compromisos dentro del Protocolo de Kyoto, puesto que dentro de las políticas del país está la conservación de los recursos y la biodiversidad, y los cambios que se den a nivel global afectan directamente a países pequeños, al igual que la Comisión de las Comunidades

⁶ Países en vía de desarrollo sin compromiso a disminuir emisiones de GEI.

Europeas se planteo el señalamiento de que los países en vías de desarrollo también tienen que tomar acciones en la reducción de sus emisiones de un 15-30% respecto a la línea base (COM 2008).

En el año 2000 la Autoridad Nacional del medio Ambiente (ANAM) entregó el Primer Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (PINGEI) con el propósito de cumplir los siguientes objetivos: i) cumplir con el compromiso internacional adquirido ante la Convención; ii) determinar la disponibilidad nacional de información estadística, en los términos de la metodología propuesta comprendida en las Directrices Revisadas de 1996 (PICC, OECD, IEA, 1997); iii) cuantificar el nivel de contribución de las actividades antropogénicas y procesos naturales relacionados con la emisión y fijación de los GEI; iv) proporcionar el basamento para la ejecución de diferentes acciones en el país, entre ellas las proyecciones de las probables emisiones en el futuro así como la identificación y evaluación de proyectos, programas y estrategias de mitigación del cambio climático global. El aporte nacional al presupuesto global de emisiones netas de CO₂ a la atmósfera para 1994 se estimó en 15,188.56 Gg. En el cuadro 2 se muestra que el cambio de uso de la tierra constituye la mayor intensidad de emisiones.

Cuadro 2. Síntesis del primer inventario nacional de gases de efecto invernadero de Panamá-INGEI con año base 1994 (Gigagramos).

Categoría de fuentes y sumideros de GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	CVDM
TOTAL- PINGEI	15,188.56	230.37	9.42	16.48	544.74	5.58
1. Energía	5,873.12	0,05		0.07	0.11	3.02
2 Procesos industriales	412.94			0.07	0.11	3.02
3. Disolventes y otros productos						0.61
4. Agricultura		94.09	8.87	1.57	22.01	
5. CUTS	8,902.50	59.69	0.41	14.83	522.31	
6. Desperdicios		76.54	0.14			
Partidas informáticas	3,497.19					
Búnkeres internacionales	1,014.04					
a- Aviación	389.33					
b- Marino	624.71					
Emisiones CO ₂ de biomasa	1,155.38					

Fuente: PINGEI Panamá, 2000.

Respecto a las emisiones directas de Dióxido de Carbono (CO₂), el aporte mayor de este al INGEI lo tiene el CUTS con el 58.61% (8,902.5 Gg. CO₂) de las emisiones nacionales, seguido del sector energético con 38.67% (5,873 GgCO₂), siendo el de menos influencia el sector industrial con 2.6%. En todo el sector agropecuario, se estimó según la relación de las emisiones según tipo de gases emitidos; en los sistemas CUTS, desperdicios y agricultura, cuya relación al CH₄ emiten el 25.91%, 32.22% y 40.84%, respectivamente cada sistema; las emisiones del (N₂O) se concentran en los sectores de agricultura 94 % (8.87 Gg.), CUTS 4% (0.41 Gg.) y desperdicios 2% (0.14 Gg.).

Según el informe de ANAM (2008b) Panamá tiene proyectos de Marco de Gestión Ambiental, Gestión Ambiental del Territorio y Gestión Integrada de Recursos Hídricos y tiene un horizonte y de generación de biomasa. Relacionados a emisiones tiene: (1) Memorándum de entendimiento entre ANAM y Ministerio de Ambiente de Asturias con el fin de facilitar la compra de Certificados de Reducción de Emisiones provenientes de inversiones, (2) Banco Mundial FCPF de REDD compromiso de reducción de emisiones por deforestación, estrategias para desarrollo sostenible, (3) proyecto español para adaptación y mitigación en el CC para cumplir con los objetivos del milenio.

Además, el estado promueve una visión integral de las relaciones en las estrategias de conservación para el desarrollo sostenible entre el ambiente urbano y rural, procurando transferir bienes y servicios ambientales de manera equilibrada y equitativa. ANAM enfoca en esto las Políticas Nacionales de Gestión Integrada de Recursos Hídricos; de Descentralización de la Gestión Ambiental; de Información Ambiental; de Producción Más Limpia; de Supervisión, Control y Fiscalización Ambiental; de Gestión Integral de Residuos No Peligrosos y Peligrosos; y la Política Nacional Forestal, las cuales tienen como eje transversal la Política Nacional de Cambio Climático. En este marco, la estrategia de cambio climático incorpora opciones de mitigación y adaptación sustentadas en el diagnóstico de las emisiones de GEI de los distintos sectores productivos y de servicios, de acuerdo a un Inventario de Emisiones actualizado.

2.3.2 Generalidades del Sistemas doble propósito en Panamá

La importancia de los sistemas de doble propósito (SDP) está en la producción tanto de leche como de carne y su capacidad de producir con poca demanda de insumos externos, mano de obra, liquidez diaria y flexibilidad en el manejo donde se utilizan animales por lo general cruzados o adaptados a las condiciones climáticas, y alimentación a base de pastoreo lo que le permite al productor y al sistema subsistir a las variaciones del clima y mercado. Por estas cualidades señalan a los SDP como el sistema de producción que reúne características favorables para cumplir con la demanda creciente de productos ganaderos de manera sostenible (Mármol 2006).

No obstante la realidad es otra, en la actualidad las condiciones de producción no favorecen la sostenibilidad del SDP, ya que estos presentan niveles bajos en productividad animal, a consecuencia principalmente del manejo inadecuado de la dieta y los recursos forrajeros, incidiendo negativamente al deterioro de los recursos naturales con los que se relaciona el sistema. En América Latina y el Caribe (ALyC) los SDP solo producen el 8.8% y 20.1% del total de la leche y carne consumida, por lo que se hace necesario modificar el manejo para hacer el SDP más eficiente y competitivo (Soto 2004).

En Panamá el SDP no escapa de la tendencia antes mencionada de ALyC, existen alrededor de 6,590 productores de leche que se agrupan según características de la leche en tres tipos denominadas grado A, B y C esto tomando en cuenta el conteo de bacterias (grado C > 1 millón; grado A y B <1 millón), tipo de manejo al ordeño, infraestructuras y otras. La leche grado C proviene principalmente de SDP, es utilizada para la producción de subproductos lácteos como leche evaporada y condensada. Concentran la mayor cantidad de productores a nivel nacional con el 80%, de los cuales el 70% de los productores están localizados en la península de Azuero que producen cerca del 44% de la leche fluida del país, con una producción en litros de 70.5 millones (ANAM 2005, Fernández 2008).

Las características más comunes en los SDP de Azuero son: ordeño con apoyo del ternero, pastoreo extensivo con pasturas naturalizadas o naturales, en la mayoría de los casos degradadas (*Hypharrenia rufa*; *Bothriochloa pertusa*) y las pasturas mejoradas de los cultivares de *Braquiarias*, *Cynodon* y *Digitaria suazilandensis*; los cruces más comunes de las

razas Cebuinas, con Holstein, Brown Swiss y Jersey. La alimentación se basa en el uso de pastoreo extensivo; limitado uso de suplemento principalmente para la época seca donde la producción baja más de 50%; promedio de 3 a 4.5 litros leche animal⁻¹día⁻¹, ordeño una vez al día con apoyo del ternero y el destete se realiza entre 8 y 12 meses; y la deficiencia del manejo zoonosanitario (Fernández 2008, Herrera et ál 2005).

2.4 Análisis del ciclo de vida para la construcción de la huella de carbono

2.4.1 La Huella Ecológica y la Huella de Carbono

El ser humano tiene una dependencia en los recursos de la naturaleza, por lo que se hace necesario saber y entender cuáles son nuestras limitaciones ecológicas, con el propósito de desarrollar medios de vida que sean satisfactorios y sustentables dentro de los límites de la naturaleza. De la necesidad de comprender esta interacción nace el término “*Huella Ecológica*”, la cual nos permitirá entender nuestras limitaciones ecológicas con la finalidad de idear estrategias de sustentabilidad. La Huella Ecológica es una herramienta contable, utilizada para estimar los requerimientos en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos de una determinada población o economía, expresado en áreas de tierras productivas (Wakernagel 2001). Para las cuantificaciones de gases de efecto invernadero, dentro de la huella ecológica encontramos la “*Huella de Carbono*”, que constituye casi el 50% de la huella ecológica (Wakernagel 2001).

Aunque no hay una definición concreta de la huella de carbono se ha podido determinar que la línea de fondo común es que la huella de carbono se refiere a cierta cantidad de emisiones gaseosas que son pertinentes al cambio del clima y asociado con actividades humanas de producción o consumo (Wiedmann et ál 2007). Según Carbón Trues (2007) podemos definir la huella de carbono como una metodología para estimar las emisiones de GEI en equivalente de carbono de un producto a través de su ciclo vital de la producción de materia prima utilizada en su fábrica, a la disposición del producto terminado. A esto lo complementa POST (2006) en donde dice que además de ser emisiones de CO₂ y otros GEI,

señala que es expresado en $\text{g CO}_2\text{e Kilovatio-hora}^{-1}$ de generación lo que justifica los efectos diferentes del calentamiento climático de otros GEI.

Al considerar dentro de la huella de carbono los otros gases de efecto invernadero (CH_4 , N_2O), y al implicar la transformación de emisiones de gases no relacionados con el carbono a toneladas equivalentes de CO_2 , se ofrece una huella más completa (Wiedmann et ál. 2007). Actualmente está naciendo un mercado en donde se exigen productos que tengan bajo impacto ambiental o que sean eco amigables, por lo que existe el interés de empresas británicas en considerar la opción de adicionar en las etiquetas de productos la leyenda de la huella de carbono con el propósito de que los consumidores puedan elegir entre productos con mayor o menor huella. La aplicabilidad de la huella de carbono en el sector ganadero podemos medirla a través del proceso productivo en el cual los componentes interactúan para llegar a la producción de leche o carne. De aquí nacen la interrogante de ¿Cuánto CO_2e se emite para producir 1kg de carne o 1 kg de leche?

2.4.2 Aplicación del Análisis del ciclo de Vida

Las industrias ganaderas producen efectos colaterales que se propagan a lo largo de las líneas de producción, desde las enormes cantidades de granos para forraje hasta el tema de la eliminación de las montañas de estiércol (Villar 2006). La demanda de insumos externos y los procesos de intermediación en los sistemas ganaderos incrementan sustancialmente las emisiones de GEI, estos factores hacen del Análisis de Ciclos de vida de los productos (ACV) una herramienta esencial para evaluar el impacto de la actividad en el fenómeno del cambio climático (Wiedmann et ál. 2007).

El ACV constituye un marco objetivo y científicamente robusto, para el apoyo en la toma de decisiones ambientales. El enfoque de análisis se centra en tres líneas generales:

- 1) Emisiones directas
- 2) Emisiones indirectas
- 3) Estrategia de compensación de las emisiones

El ACV está compuesto de las siguientes etapas:

- Objetivo de la investigación y enfoque
- Análisis del inventario de datos
- Evaluación de impactos
- Interpretación de resultados

Sin embargo es importante señalar que todo sistema tiene sus desventajas, el Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta que se está desarrollando rápidamente, pero requiere de mucho trabajo para superar las limitaciones que ahora presenta, las cuales se relacionan principalmente con la incertidumbre y la subjetividad, debido a que:

1) Existen incertidumbres en:

- Los datos usados para generar el inventario
- La metodología usada para analizar el inventario y para evaluar el impacto,
- La descripción del sistema en estudio, y
- En los datos usados como referencia para la normalización.

2) El pesaje involucra elementos ideológicos y valores éticos que no pueden determinarse objetivamente.

En la actualidad el ACV está siendo utilizado en empresas proveedoras de servicios y de insumos como es el caso en Irlanda, en donde se está aplicando en sistemas con producción agropecuaria con la finalidad de medir el impacto en la producción ganadera que utiliza insumos externos como los granos producidos en Estados Unidos o concentrados de industrias japonesas (Casey y Holden 2006). Méndez (2009) comparó por medio del análisis del ciclo de vida, los impactos ambientales de la fabricación de compost, metanización y vertido de los bioresiduos en la ciudad de Sao Paulo en Brasil, que concluyen que el vertido presenta impactos ambientales mayores que la fabricación de compost y la metanización.

La aplicabilidad de esta técnica en los sistemas ganaderos se basa en la unidad productiva de 1 kg de leche fresca o 1 kg de carne, con lo que se quiere estimar cual es el volumen de emisión en CO₂e según unidad de producto. Por ejemplo en Japón según Ogino et ál (2007) en sistemas intensivos, se calculó que para producir 1 kg de carne de vacuno se

produjeron 36.4 kg de CO₂e, con casi toda la energía consumida atribuyéndose a la producción y al transporte de piensos. Según Steinfeld et ál. (2006) aproximadamente las emisiones por transporte de insumos de su país de origen hasta donde se utilizan son de 0.8 millones de toneladas métricas de CO₂ por año y de 41 millones de toneladas métricas de CO₂ al año por el consumo de combustible fósil para producir fertilizantes para los cultivos de alimentación del ganado, como el maíz y soja.

En otros estudios para evaluar los impactos respecto a la producción de leche y carne se han utilizado dos indicadores: contenido de grasa y proteína corregido por la producción total de leche (FPCM por sus siglas en ingles) expresada en kg y la ganancia de peso de las crías durante un año expresada en Kg (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de la aplicación del ACV para obtener el CO₂e por Kg de leche o sub productos.

Fuente	Kg CO ₂ e			
	Leche finca	Leche envasada	Yogurt	Queso
Hospido (2010) España	0.93	1.32	1.1	8.8
Van Calker (2003)- Holanda	1.6			
Van der Werf (2005)-Francia	0.88			
Van Kernebeeck et ál 2008- India	1.63			
Casey (2005)- Irlanda	1.5			
Dalgaard (2004) – Reino Unido	1.32			
Dalgaard (2004) - Dinamarca	1.06			

Fuente: Guerra (2008)

2.5 Mitigación

Se entiende por mitigación expresado en CO₂ e (equivalente o de forzamiento radiactivo total) es el conjunto de medidas que se pueden tomar para reduciendo en distintas combinaciones las emisiones de diversos gases, y mejorando cualitativamente los sumideros de gases de efecto invernadero (IPCC 1997).

Los tratados internacionales y las políticas nacionales procuran enriquecer las actividades mundiales encaminadas a mitigar el cambio climático y adaptarse al mismo. Si bien es importante seguir implementando técnicas de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la mitigación por sí sola no es suficiente, el calentamiento del planeta ya está en marcha y es urgente contar con estrategias de adaptación, especialmente para los países

pobres más vulnerables que ya están resintiendo desproporcionadamente los efectos (FAO 2009).

Al referirnos a la mitigación GEI por parte del recurso forestal, se utilizan varios términos como los siguientes:

Secuestro de carbono (Stock): está relacionado con el término absorción, es el proceso de aumento del contenido en carbono de un depósito de carbono que no sea la atmósfera. Desde un enfoque biológico incluye el secuestro directo de dióxido de carbono de la atmósfera mediante un cambio en el uso de las tierras, forestación, reforestación, y otras prácticas que mejoran el carbono en los suelos agrícolas. Desde un enfoque físico incluye la separación y eliminación del dióxido de carbono procedente de gases de combustión o del procesamiento de combustibles fósiles para producir fracciones con un alto contenido de hidrógeno y dióxido de carbono, y el almacenamiento a largo plazo bajo tierra en depósitos de gas y petróleo, minas de carbón y acuíferos salinos (FAO 2009). Capacidad de un ecosistema de mantener una determinada cantidad promedio de carbono por ha, para cuantificarle se realiza un inventario forestal tomándose en cuenta: bosques o vegetación, densidad de la madera y factores de ajuste se expresa en $t C ha^{-1}$ (Ramírez et ál. 1994 y Segura 1997 citados por Ruiz 2002).

Fijación de carbono: se refiere a la capacidad de una unidad de área cubierta por vegetación para fijar carbono en un periodo determinado, es decir por encima de la cantidad presente almacenada. Este carbono almacenado es de forma temporal, se expresa en $t C ha^{-1} año^{-1}$ (Ramírez et ál. 1994 y Segura 1997 citados por Ruiz 2002).

2.6 Valoración económica

Al igual que los bienes privados, el ambiente enfrenta el problema de la escasez dado que los recursos naturales tienen usos alternativos. El problema económico se origina en la necesidad de decidir el mejor uso social de los recursos naturales (Vásquez 2007). Para definir el término de “valor” podemos fundamentarnos a partir de la pregunta ¿Cuál es la mejor alternativa? En este sentido, el análisis económico intenta alcanzar objetivos socioeconómicos en forma eficiente y para ello se emplean diversas metodologías de valoración económica.

Específicamente para este estudio se utilizó la metodología de Productividad Total de los Factores siguiendo la línea de conclusiones científicas internacionales respecto a la afectación del cambio climático en la agricultura (Gonzales 2008; Swinton 2007). Según Kopp y Smith (1993), el daño ambiental se entiende como un perjuicio a los recursos naturales que no permite mantener un conjunto de activos naturales dentro de la esfera de interés público.

3 BIBLIOGRAFÍA CITADA.

Andrade H J.; Segura M; Somarriba E; Villalobos M. 2008c. Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* N ° 46.p. 45-49

Ávila, G; Jimenez F; Beer John, Gomez M; Ibrahim M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Revista agroforestería de las Américas*. Vol. 8 N° 30.p. 32-35

Beauchemin, K.A., Kreuzer, M., O'Mara, F., McAllister, T.A., 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Aust. J. Ep. Agric.* 48. 21–27p. Consultado nov. 2010. Disponible en: <http://www.farmersandclimate.org.nz/LinkClick.aspx?fileticket=pNpCpqBIUg0%3D&tabid=58>

Carmona, J. Bolívar, D; Giraldo, L. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias pecuarias* Vol. 18: 1. p. 49-63

Casey, J. W; Holden, N. M. 2006. Quantification of GHG emissions from sucker-beef production in Ireland. *Source: Agricultural systems*. Volm.90 Issue: 1-3. p. 79-98

Castellón, C. 2010. Mitigación y adaptación al cambio climático en la agricultura y la ganadería. Curso estrategia Valenciana ante el Cambio climático. Instituto Valenciano de Investigación agraria. 16p. Consultado ago. 2010. Disponible en:

http://www.cma.gva.es/comunes_esp/documentos/agenda/cas/64799-Mitigaci%C3%B3n%20y%20adaptaci%C3%B3n%20al%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20la%20agricultura%20y%20la%20ganader%C3%ADa.pdf

Chacón, M; Ibrahim, M; Rojas J. 2006. Inventario de carbono en sistemas silvopastoriles. Curso en Sistemas Silvopastoriles, Escuela de Postgrado, CATIE, Turrialba, 23 de mayo. 34 p.

Dalal R, Wang; Robertson, P; Parton, W. 2003. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. Australian Journal of Soil Research 41. p.165- 195

FAO (Organización de las Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación, IT) 2006. La ganadería amenaza el medio ambiente. Consultado sep. 2009. Disponible: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación, IT).2008. Ayudando a desarrollar una ganadería sustentable en América Latina y el Caribe. Lección a partir de casos exitosos.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación, IT) 2009. Mitigación del cambio climático y adaptación en la agricultura, la silvicultura y la pesca.

GAMMA (Programa de Ganadería y manejo del medio ambiente). 2010. Programa de fomento de la producción agropecuaria sostenible. Determinación del balance de los GEI en fincas Ganaderas de la región de Chorotega. Como elemento de referencia para mejorar la competitividad. Informe final. SP N° 14-2009 250p.

Geo Panamá. 2004. Informe del Estado del Ambiente. ANAM. 176p.

- Guerra L. 2008. Construcción de la huella de carbono a escala de paisaje para zona ganaderas de Esparza y Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para carne y leche en una finca doble propósito, Costa Rica. 51p.
- Hospido A. 2010. Nuevos retos , Huella de Carbono en la producción Lactea. Universidad de Santiago de Compostella. Consultado oct. 2010 Disponible en: <http://www.agro-alimentarias.coop/ficheros/doc/03058.PNdf>
- Hughes W, Alpízar E, Díaz R. 2003. Panamá frente al cambio climático. Serie Centroamericana de Bosques y Cambio Climático. FAO Políticas pecuarias 3.
- IBEROCONS 2007. Diagnóstico sobre el sector agropecuario. Estudio orientado para la orientación tecnológica para la innovación y mejora de los sistemas de producción agropecuarios de Panamá. Consultado sep. 2009. Pdf
- Ibrahim, M; Villanueva; C. P; Casasola, F. 2007. Sistemas silvopastoriles como una alternativa para el Mejoramiento de la Productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. XX Reunión ALPA, XXX APPA-Cusco-Perú. Archivo. Latinoamericano. Producción Animal Vol. 15 (Supl. 1).p. 73-87
- IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático). 1997. Estabilización de los gases atmosférico de efecto invernadero: implicaciones físicas, biológicas y socioeconómicas. Grupo de trabajo I del IPCC.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático). 2001 Tercer Informe de Evaluación. Cambio climático Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Consultado sep. 2009. Disponible en: http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.htm.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007. Informe y Síntesis. Consultado 6 sep. 2009. Disponible en:http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

- Marmol, J.2006. Manejo de pastos y forrajes en la ganadería doble propósito. Décimo seminario de Pastos y Forrajes. 1-9p
- Mahecha, L. 2002. El Silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el Impacto ambiental de la ganadería bovina. Revista Colombiana de Ciencias Pecuaria Vol. 15: 2, 2002. 6p
- Méndez G, María G. 2009. Aplicación de técnica de Ciclo de Vida al diseño de un sistema de gestión de residuos urbanos para la ciudad de Chihuahua. Universidad de Rovira i Virgili Tesis de Doctorado. Consultado 2 jun. 2009. Disponible en: <http://www.tdr.cesca.es/>
- Montagnini, F. 1992. Sistemas agroforestales, principios y aplicaciones en los trópicos. 2ª. Ed. San José, CR, Organización para Estudios Tropicales. p. 88-93.
- Montenegro, J; Abarca, S. 2001a. Balance of emissions with greenhouse effect in silvopastoral systems in three life zones of Costa Rica. In Ibrahim, M. compiler. International Symposium on Silvopastoral Systems, Congress on Agroforestry and Livestock Production in Latin America. (2, 2001, San José, CR). Turrialba, CR, para la ciudad de Chihuahua. Universidad de Rovira i Virgili Tesis de Doctorado. Consultado CATIE/GTZ/EDI/IFS/DANIDA/IUFRO/SIDCA /FAO. p. 107-111.
- Paustian K, Antle M, Sheehan J, Eldor P. Agriculture's Role in Greenhouse Gas Mitigation. Washington, DC: Pew Center on Global Climate Change; 2006. Disponible en <http://www.pewclimate.org/docUploads/Agriculture's%20Role%20in%20GHG%20Mitigation.pdf>
- Pezo, D; Romero, F; Ibrahim, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para leche y carne. Avances de la producción de leche y carne en el Trópico Americano. FAO, Chile.

- PNUMA; SEMARNAT .2006. El cambio climático en América Latina y el Caribe.
Consultado en oct. 2009. Disponible en
<http://www.pnuma.org/Cambioclimatico/CAMBIO%>
- Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.2000. Autoridad Nacional de Ambiente (ANAM) 37-54p.
- Reid, R; Thornton, P; McCrabb, G; Kruska, R; Atieno, F; Jones, P. 2004. Is it possible mitigating greenhouse gas emissions in pastoral ecosystems of the tropics? *Environmental, Development and Sustainability* 6: p 91-109.
- Robert, M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe de los recursos mundiales del suelo FAO- Roma 2002. Documento del depósito de la FAO. 98p. Consultado 22 jul. 2010. Disponible en:
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/004/y2779S/y2779s00>.
- Steinfeld, H. 2000. Producción animal y el medio ambiente en Centroamérica. In C. Pomareda y H. Steinfeld. Eds. *Intensificación de la ganadería en Centroamérica:Beneficios económicos y ambientales*. San José, CR, CATIE/FAO/SIDE. p. 17-32.
- Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; Haan C. (2006). *La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones*, FAO; LEAD: 493p.
- Szott, L., Ibrahim, M. & J. Beer. 2000. The hamburger connection hangover: cattle, pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba CATIE. Serie técnica, Informe técnico N° 313, 71p
- Vellinga, T. 2008. Las emisiones de Gases de efecto invernadero en las granjas lecheras. *Sustainable dairy farming*. Consultado 12 sep. 2009. Disponible en:
editor@sustainabledairyfarming.com

- Villanueva, C; Ibrahim, M. 2002. Evaluación del impacto de los Sistemas Silvopastoriles sobre la recuperación de las pasturas degradadas y su contribución en el secuestro de carbono en lecherías de altura en Costa Rica. Revista Agroforestería de las Américas. Volumen 9 N° 36-36; 69- 74p
- Villar, CC. 2006. Medio ambiente y ganadería. Artículo técnico. Ganadería de carne. Consultado agosto 2009. Disponible en:
http://www.engormix.com/medio_ambiente_ganaderia_sarticulos_924_GDC.htm.
- Wackernagel, M; Rees, W. (2001). Nuestra Huella ecológica. Reduciendo el impacto humano sobre la tierra. Colección ecología & medio ambiente. 207p
- Wiedmann, T; Minx, J. 2007. A Definition of 'Carbon Footprint'. ISAUK. Research Report 07-01. Consultado en sep. 2009. Disponible en: www.isa-research.co.uk

CAPÍTULO 1. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN LA PRODUCCIÓN DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO DE LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ

1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas productivos ganaderos enmarcan su importancia en el aporte del 15% de la energía alimentaria total, 30% de la proteína de la dieta consumida por el humano, además representa el 40% de la producción agrícola mundial y ocupa el 33% de la tierra cultivable para el pastoreo y producción de forraje; cabe señalar, que se ha estimado en Centroamérica que el 40% de las zonas de pastoreo están degradadas. Además en las últimas décadas se ha relacionado a la ganadería con el incremento antropogénico de las emisiones de GEI (Scott 2007; FAO 2009).

Según la FAO (2006) la ganadería es responsable del 18% de las emisiones globales y según Bellarby et al. (2008) es responsable de hasta el 32% de las emisiones antropogénicas, considerando emisiones directas e indirectas del sector ganadero; relacionadas las emisiones antropogénicas principalmente con tres GEI producidos por el sector ganadero, CO₂, CH₄ y N₂O. La importancia del CH₄ está en tener 21 a 23 veces más poder de atrapar calor que el CO₂, adicionalmente la ganadería aporta al sector agrícola el 95%.

La fuente principal del CH₄ es la fermentación entérica por los rumiantes, producido principalmente en condiciones anaeróbicas por *Archaea metanogénicas*, que utilizan CO₂ y H₂, estrechamente relacionadas a la dieta de los animales donde pueden representar en pérdida del 2 al 15% de la energía bruta consumida por el rumiante y la proporción de acético vs. propiónico, cuya óptima sería de 0.5 donde la pérdida de energía sería 0. (Crutzen et al., 1986, Leng, 1993, Van Nevel y Demeyer 1995 citados por Colombatto 2007, FAO 2006). Reid et al (2004) encontraron que en dietas de condiciones tropicales se puede producir 3.5 veces más CH₄ por unidad de producto (leche o carne) que en dietas de clima templado, por lo que la manipulación de la dieta es un factor importante para influir positiva o negativamente sobre las emisiones de este gas.

El N₂O aunque se encuentre en la atmósfera en pequeñas concentraciones su poder de calentamiento es de 296 a 310 veces más caliente que el CO₂ y su periodo de permanencia en la atmósfera es muy largo (114 años). La producción de este gas por la ganadería globalmente se relaciona con el manejo del excremento, la quema de biomasa y la utilización de fertilizantes. En relación con los procesos de desechos animal se involucran bacterias y microorganismos donde se dan los procesos de nitrificación y desnitrificación en condiciones anaeróbicas (Steinfeld et ál. 2006).

Directamente al sector lácteo se le atribuye a nivel mundial el 2.7% de CO₂e por emisiones de origen antropogénico de la producción, elaboración y transporte, pero si se le incluye las emisiones por la producción de carne que provenga del sector lácteo se estiman las emisiones en 4% de CO₂e (FAO 2010). Considerando que es una realidad la incidencia del sector ganadero respecto en las emisiones, se han planteado estrategias con el fin de mitigar estos efectos y tener sistemas productivos bajos en emisiones de GEI. Los sistemas silvopastoriles (SSP), son vistos como una de las estrategias que ayudan a reducir las emisiones por mejoras a las condiciones y la dieta animal; además con los SSP también se mejoran los sumideros de la biosfera con la conservación del recurso forestal disponible (Andrade 2003; FAO 2006).

Este estudio se realizó en la península de Azuero, región en la cual el sistema de producción lechera predominante es el doble propósito (SDP), teniendo la mayor concentración de productores del mismo, con una producción que abarca cerca del 44% de la leche procesada a nivel nacional. La característica climática de esta región (fuerte periodo de sequía) dificulta la producción año tras año, obteniéndose bajos índices productivos y un alto impacto por degradación principalmente en las áreas de pastoreo y el capital natural de las áreas de producción. En el desarrollo de este capítulo, se cuantificó la incidencia de dos tipos de manejo del SDP en relación a las emisiones de gases de efecto invernadero por la producción de leche como principal producto del sistema y la ganancia de peso de los terneros lactantes.

1.1 Objetivos

- Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero en cada fase del proceso de producción de leche de las fincas.
- Esquematizar la cadena de producción de leche según las características de la finca y analizar el ciclo de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Identificar los componentes de la cadena de producción que contribuya con la mayor intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en la producción de leche de un sistema doble propósito según la época del año.
- Determinar las emisiones de gases de efecto invernadero a través del Análisis del Ciclo de Vida para la producción de los sistemas doble propósito en estudio.

1.2 Preguntas de investigación

¿Cómo influye el sistema de manejo implementado para la producción de leche con respecto a la emisión de gases de efecto invernadero?

¿Cómo influye la estacionalidad en las emisiones de gases de efecto invernadero por la utilización de insumos de producción?

¿Cuáles son las actividades que deben ser monitoreadas para mejorar las prácticas de manejo?

¿Cuáles son las emisiones totales del sistema doble propósito por la producción de 1 Kg leche y 1 kg carne?

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El desarrollo de este trabajo se realizó en fincas doble propósito de la península de Azuero, específicamente en las provincias de Los Santos y Herrera, las que se encuentran ubicadas en la zona Pacífico Sur dentro de la zona del Arco Seco. Las fincas están ubicadas entre las coordenadas $7^{\circ} 59'11''$ N - $80^{\circ} 27' 323$ W y $8^{\circ} 24'52''$ N- $80^{\circ} 47'60''$ W, altura del nivel del mar desde los 10 m hasta 155 m, siendo esta una zona con alto índice de deforestación (Figura 1) y considerada dentro de las áreas en proceso de desertificación del país (ANAM 2002). La zona de vida según la clasificación de Holdridge está entre Bosque Húmedo Premontano, Bosque seco Premontano y Bosque seco tropical (prevaleciendo las dos últimas), con un clima de sabanas tropical, clasificación taxonómica de los suelos existentes de alfisoles e inceptisoles, con una precipitación promedio entre 900 a 1100 mm y temperatura promedio de 28°C (ANAM 2008).



Figura 1. Ubicación del área de estudio en Panamá (fuente CATHALAC 2004)

2.1.1 Selección de las fincas

Para la sección de las fincas analizadas se tomaron las fincas de productores de la línea base del proyecto de Innovación Tecnológica de Nestlé y las fincas modelo del Ministerio de

Desarrollo Agropecuario de Panamá (MIDA). A través de entrevistas estructuradas a los productores de las fincas involucradas de ambos proyectos, se realizó una caracterización para obtener los manejos presentes en las fincas y datos específicos en cuanto al uso de suelo y distribución de la tierra (pastos naturales, pastos mejorados, bancos forrajeros, área de tacotal, corredor ribereño, cobertura arbórea y cultivos), estructura del hato (categorías animal), producción animal, genética, manejo sanitario del hato, mano de obra, manejo de pasturas, suplementación alimenticia, manejo del componente arbóreo, manejo de desechos, utilización de insumos externos (concentrado y agroquímicos), y comercialización de los productos de la finca.

Los datos obtenidos en la caracterización, fueron tabulados en una hoja de cálculo de MS Excel y procesados a través de un análisis estadístico multivariado por medio de la técnica conglomerado usando el software InfoStat (Anexo 1), para seleccionar la muestra. Se seleccionaron 6 fincas en base a las variables relacionadas a los factores que inciden en el balance (número animal, tipo de alimentación y suplementación, área en producción de forraje, producción, uso de combustible y utilización de agroquímicos).

2.2 Proceso de emisiones

Para el análisis de las emisiones del SDP se contemplan las emisiones en dos fases, los procesos fuera de las fincas y dentro de las fincas (Figura 2).

1. Fuera de la finca: se contemplan las emisiones por quema de combustible fósil por adquisición de insumos, transporte de jornales, comercialización de la leche cruda y las emisiones por procesos productivos en la fabricación de insumos para la finca.

2. Dentro de la finca: se incluyen las emisiones producidas por los animales en los procesos digestivos, manejo de estiércol, utilización de fertilizantes y utilización de combustible fósil para suplir agua o procesos de preparación de suplemento.

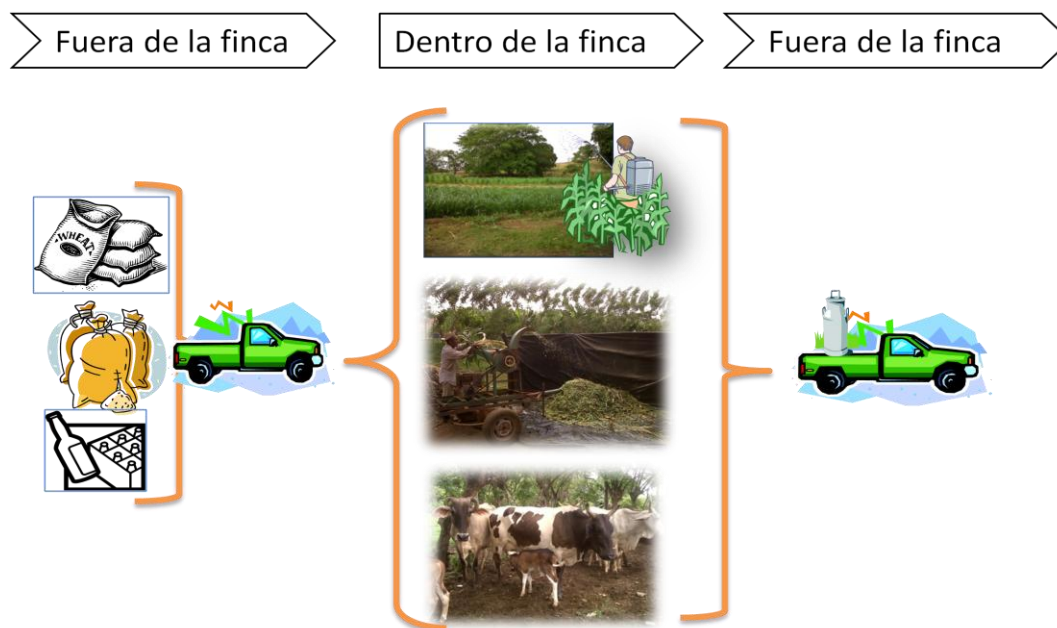


Figura 2. Etapas en el proceso productivo de leche, incluyendo los procesos dentro y fuera de la finca.

2.3 Variables productivas de la finca

2.3.1 Producción forrajera

Uno de los principales factores que influye sobre el manejo del hato es la estacionalidad climática de esta región, como antes se mencionó hay una época seca que se extiende de mediados de noviembre hasta abril, y una época lluviosa de mayo a principios de noviembre. Para efecto del estudio se tomaron los datos de producción de biomasa forrajera cada 28 días, con el propósito de obtener el volumen de biomasa en materia seca de la finca para ver la disponibilidad de forraje para los animales. El muestreo se realizó para la época seca en los meses de febrero a abril, y para la época lluviosa de mayo a julio, a través de un muestreo con la toma de 20 a 40⁷ muestras de pastos seleccionado por especies presentes en la finca, y distribuidos al azar en el potrero utilizando un marco de 1 m².

⁷ Dependiendo del área o tamaño del potrero

Para obtener la producción de materia seca (MS), se secaron las muestras secar en un horno a 75°C por 48 horas y para los datos bromatológicos (DIVMS y PC) se tomaron de información secundaria proporcionado por técnicos del IDIAP y PROMEGA.

Donde para el cálculo de la digestibilidad de la materia seca (DIVMS) y la PC disponible se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{DIVMS (kg MS día}^{-1}\text{)} = \text{kg MS} * \% \text{ Mcal EM}$$

donde:

kg MS: cantidad del forraje en materia seca ofrecido al animal diariamente.

% Mcal EM: aporte del forraje en energía metabolizable obtenida en los análisis bromatológicos según época.

$$\text{PC (kg día}^{-1}\text{)} = \text{kg MS} * \% \text{ PC}$$

donde:

kg MS: cantidad del forraje en materia seca ofrecido al animal diariamente.

% PC: aporte del forraje en proteína cruda, obtenida en los análisis bromatológicos según época.

2.3.2 Productividad animal

La producción de leche por vaca se monitoreo en campo cada 30 días a la hora del ordeño (5:30- 7:00 am) con 5 mediciones en total por finca (de abril a agosto). El contenido de sólidos y grasa, se obtuvo de registros de los productores y de información secundaria a través de las plantas procesadoras.

Para estimar la ganancia de peso en los animales, ya que las fincas no cuentan con las infraestructuras necesarias para llevar una balanza, se estimaron con una cinta especial para calcular pesaje en ganado doble propósito, para lo que se realizaron tres mediciones en un periodo de 7 meses para determinar las variaciones de peso (ganancia o perdida) para la épocas seca y lluviosa.

2.3.3 Supuestos para la cuantificación de las emisiones de GEI en el SDP.

- Se utiliza el poder de calentamiento del gas CH₄ de 21 y N₂O de 310, para obtener los resultados en CO₂e, factores recomendados por el IPCC (2006)
- El hato no varía durante el año, por lo que se considera la composición del hato al momento de realizar la entrevista.
- Se considera un periodo de producción de 300 días tanto para la producción de leche y ganancia de peso lo que corresponde al ciclo de ordeño y al destete de una cría.
- Se utilizó un 3,5% de porcentaje de grasa y 11 a 12% proteína en leche y se datos promedios de productividad litros leche animal⁻¹día⁻¹ tanto para la época seca y lluviosa, promedio obtenidos de información secundaria.
- Una unidad animal corresponde a 400 Kg.
- La tasa de parición para las fincas de manejo mejorado se utilizó en 53% y para las fincas de manejo mejorado en 62%.
- Se asumió que los animales adultos no ganan peso en la época seca.
- La variaciones de peso reportadas en las fincas una ganancia de peso promedio para las crías lactantes en la época seca y la época lluviosa para las fincas de manejo tradicional de 0.04 y 0.21 kg⁻¹ día⁻¹ y las fincas de manejo mejorado de 0.12 y 0.24 kg⁻¹ día⁻¹.
- Se asumió que el requerimiento en materia seca (MS) de las vacas en ambas épocas es de 2.5% MS animal⁻¹ día⁻¹ del peso vivo (400 kg), y 10.5 % animal⁻¹ día⁻¹ de proteína cruda (PC).
- Se estimó a través de la producción de biomasa que las fincas de manejo tradicional (FMT) en la época seca disminuyen el aporte de la ración a los requerimientos de los animales en FMT1 de 5%, FMT2 y FMT3 de 40%.

2.4 Emisiones de gases de efecto invernadero

Para el cálculo de las emisiones del ganado, se utilizó el nivel 2 y 3 de la metodología del Capítulo 4 de agricultura del IPCC (2006), utilizando los datos de la caracterización del hato de ambos grupos para determinar por fincas las categorías animales, número de animales en cada una, y valor nutritivo de las dietas. En las emisiones relacionadas con el uso de

insumos y actividades fuera de la finca se utilizó el Nivel 1 con los factores genéricos y el programa SimaPro 7.2 con el que a través de una base de datos a nivel mundial se obtiene el factor por fabricación de los productos involucrados en este SDP.

Respecto a la demanda de insumos, se llevó registro de cuales insumos se utilizaban, la cantidad y con que frecuencia. Se tomó en cuenta: suplementos para animales, herbicidas, fertilizantes, combustible en transporte (insumos, mano de obra y producción), y combustible usado dentro de la finca para equipos.

Los tipos de emisiones incluidas en la estimación son las siguientes:

- Emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica
- Emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la producción de residuos de origen animal en potreros.
- Emisiones de N₂O procedentes de la aplicación de fertilizantes sintéticos en pasturas.
- Emisiones de CO₂ procedentes de la utilización de combustibles para las actividades de mantenimiento, transporte en la finca, bombas de agua o picadora de pastos.
- Factores de emisión por el ACV de productos a través del software SimaPro 7.2

2.4.1 Emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica

Los rumiantes por su sistema digestivo tan complejo son fuente potencial de emisiones de CH₄ lo que está relacionado directamente con el valor nutritivo de la dieta. Según la metodología de la guía del IPCC (2006), aplicando un método de nivel 2 para las emisiones de CH₄ por fermentación se realizó la estimación del aporte del ofrecido en la dieta de cada finca en relacionado a la oferta promedio de energía bruta, proteína cruda y la digestibilidad de la dieta de los diferentes grupos de animales según época.

En este caso, se generaron los factores de emisión y se dispuso de los datos de la actividad en forma detallada, incluyendo todas las categorías.

Calculo del factor de emisión:

$$FE = (EB \times Ym \times 180 \text{ días}) / (55.65 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ CH}_4)$$

donde:

FE: factor de emisión (kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹)

EB: absorción de energía bruta (MJ animal⁻¹ día⁻¹)

Y_m: es la tasa de conversión del metano, que es la fracción de energía bruta presente en los alimentos que se convierte en CH₄, es 0.06 ± 0.005.

N_d: es el número de días del ciclo, en este caso se dividió en seca (180 días) y lluviosa (180 días)

Las emisiones de CH₄ se estimaron considerando las siguientes ecuaciones:

$$E(fe) = FE(fe) \times Población / (103 \text{ kg } t^{-1})$$

donde:

E(fe): son las emisiones de metano procedentes de la fermentación entérica (t CH₄),

FE(fe): es el factor de emisión entérica de una categoría de animales (kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹) y población es el número de animales de una determinada categoría.

2.4.2 Emisiones de CH₄ y N₂O por la producción y tipo de manejo del estiércol

Emisiones de metano

La descomposición de los residuos sólidos de los bovinos tienen como peculiaridad procesos anaeróbicos que favorecen la producción de CH₄ por las bacterias metanogénicas, dándose esta condición principalmente cuando el estiércol es manejado o almacenado. Cabe resaltar que en el sistema analizado el manejo de estiércol no es una actividad y se puede decir que el estiércol en su totalidad permanece en los potreros.

Se aplicará la metodología del Nivel 2 es necesario contar con datos detallados sobre la población de ganado desglosados por especie o categoría de animales y por región climática (fría, templada, cálida), consumo de materia seca por el animal (2.5% peso vivo).

Emisiones de CH₄ procedentes por la producción del estiércol para una población definida. El factor de emisión correspondiente a cada una de las sub-categorías se obtiene calculando la tasa de excreción de sólidos volátiles especificada:

$$SV = EB * (1 - (ED/100)) * (EU) \times [(1 - (1 - Cenizas/100)) / VCD]$$

donde:

SV es la excreción de sólidos volátiles por día en base a la materia orgánica seca (kg SV día⁻¹)

EB: estimación de la ingestión media de alimentos por día, en MJ día⁻¹

ED: porcentaje de energía digestible presente en los alimentos

EU es la energía urinaria (MJ día⁻¹)

Cenizas: contenido de cenizas del estiércol (4% países en vías de desarrollo)

VCD es el valor calórico de la dieta (MJ kg⁻¹ MS).

$$FE_i = SV_i * 365 \text{ días/año} * BO_i * 0,67 \text{ Kg/m}^3 * \sum_{(ijk)} FCM_{jk} * SM_{ijk}$$

donde:

FE_i: factor de emisión de CH₄ de un animal de la categoría i (kg CH₄ por ciclo o anual).

SV_i: sólidos volátiles excretados por el animal por día en la categoría i (kg MS/animal⁻¹/día⁻¹)

Nd: número de días del ciclo de la estimación

Bo_i: capacidad máxima de producción de CH₄ del estiércol de un animal en la categoría (m³ kg⁻¹ de SV)

0.67: factor de conversión de m³ CH₄ a kg CH₄

FCM_{jk}: factores de conversión del CH₄ para cada sistema j de manejo del estiércol que no se maneja o se deja en las pasturas, por zona climática cálida donde se realiza el estudio, valor del 2%. (IPCC 2006b, cuadro 4.10 del capítulo 4 Agricultura).

SM_{ijk}: fracción del estiércol de la categoría de animales i, tratado con el sistema de manejo j.

Emisiones de N₂O por la producción y manejo de estiércol

Las emisiones del N₂O está relacionado al volumen de heces y orina (sólidos y líquidos), producidos por el ganado. Dependiendo del manejo al estiércol, en el caso de los animales cuyo estiércol no se somete a ningún tipo de manejo se queda en el campo (animales

que pastorean libre, alimentación con forraje), según directrices del IPCC (1996) se denomina este manejo “praderas y pastizales”, este es un sistema que se da dentro de las categorías de suelo agrícola del IPCC ya que las emisiones van directamente al suelo, sin embargo se utiliza la misma metodología para el cálculo.

Para las emisiones de N₂O se debe obtener un factor de emisión definido para cada una de las categorías de ganado identificadas, el cual, dependerá de las circunstancias del área de estudio. Además, se requerirá conocer la tasa anual media de excreción de nitrógeno por cabeza, determinar la fracción anual del total correspondiente de cada especie respecto al sistema de manejo de residuos que corresponda.

La ecuación para determinar las emisiones de oxido nitroso del manejo de estiércol es la siguiente:

$$N_2O_{(mm)} = [(Población_{(i)} \times Nex_{(i)} \times \sum_{(jk)} MS_{(i,j)}) FE_{3(s)}] \times (44/28)$$

donde:

N₂O_(mm): son las emisiones directas de N₂O debidas al manejo del estiércol de los animales de la categoría i (kg N₂O por ciclo o por año), población es el número de animales de la categoría i,

N_{ex}: es el valor promedio de excreción de N por animal de la categoría i (kg N animal⁻¹),

MS_(i,j): es la fracción de la excreción total de nitrógeno de los animales de la categoría i que se maneja en el sistema de gestión del estiércol j,

FE_{3(s)}: es el factor de emisión para emisiones directas de N₂O del sistema de manejo del estiércol s (kg N₂O-N kg N⁻¹) en el sistema de manejo del estiércol j.

44/28: es la conversión de emisiones de N₂O-N (me) a emisiones de N₂O(me)

El factor de emisión (FE_{3s}) por defecto que expresa IPCC (2006) en capítulo 4 (Agricultura), cuadro 4.12, para el manejo de residuos depositados directamente en pasturas (sin tratar) es 0.02 con un -50%/+100% de incertidumbre.

Para la obtención de la tasa de excreción anual se considera la ingestión de nitrógeno y la retención del mismo. En función de la retención se aplica la siguiente fórmula:

$$N_{ext}(t) = N_{ingest} * (1 - N_{retenc}(t))$$

donde:

N_{ingest} : ingestión anual de N por cabeza y por categoría en Kg N/año

$N_{retenc}(t)$: fracción de la ingestión anual de N que retiene la especie en Kg N animal⁻¹ año⁻¹

Para obtener la ingestión anual de N se debe realizar la siguiente operación:

$$N_{ingest} = (EB/18.45) * (\%PC/6.25) * 180$$

donde

EB: energía bruta

PC: porcentaje de proteína cruda

6.25: factor de conversión a nitrógeno

180: días de la fase

Respecto a la fracción de retención IPCC (2006) considera para ganado vacuno lechero 0.2 y para vacuno no lechero 0.007 con un $\pm 50\%$ de incertidumbre.

2.4.3 Emisiones por utilización de insumos externos

De forma antropogénica se está dando el efecto en la actividad agrícola como un agente de aporte de N tanto al suelo y a las fuentes de agua de forma directa o indirecta, incrementando la disponibilidad en el sistema para la nitrificación, desnitrificación y la cantidad de N₂O emitido a la atmosfera.

Para las emisiones por aplicación de fertilizante nitrogenado se utilizó las ecuaciones del IPCC (2006) Nivel 1 y 2, se cuantificaron las emisiones directas e indirectas por para la pérdida de N por lixiviación, volatilización y deposición animal en pastoreo. También se obtuvo el factor de emisión por procesos de producción a través del software SimaPro 7.2 utilizando la base de datos ecoinvent 2.1 la cual incluye 4000 casos de análisis de ACV.

- a) N₂O procedente de la aplicación de fertilizantes sintéticos

$$EN_2O = N_{FERT} \cdot FEx \cdot 0.01x \cdot 44/28(a)$$

EN₂O: se refiere a la cantidad anual de N₂O por procedente de la utilización de

fertilizantes sintéticos, ajustada para dar cuenta del volumen que se volatiliza.

N_{FERT} : cantidad total de fertilizante sintético que se consume anualmente.

FE: factor de emisión de IPCC (2006b) (0.01) (0.1 volatilización)

44/28(a): factor de conversión

- b) Emisiones procedentes de los procesos para fabricar de fertilizantes sintéticos

$$FSN = N_{\text{prodfer}} \cdot FE(a)$$

FSN: se refiere a la cantidad anual de dióxido de carbono equivalente por procedente de la producción de fertilizantes sintéticos, ajustada para dar cuenta del volumen que se volatiliza.

N_{prodfer} : cantidad total de fertilizante sintético que se consume anualmente.

FE: factor de emisión de Análisis de Ciclo de Vida SIMAPRO 7.2 Green House Protocole)

- c) Emisiones por producción de herbicida

$$FSH = H_{\text{prod}} \cdot FE(a)$$

FSH: se refiere a la cantidad anual de dióxido de carbono equivalente por procedente de la elaboración del producto.

H_{prod} : cantidad total de herbicida que se consume anualmente.

FE: factor de emisión de Análisis de Ciclo de Vida SimaPro 7.2 Green House Protocole.

- d) Emisiones por producción de concentrado

$$E_{\text{conc.}} = C_{\text{conc}} \cdot FE_{\text{prod.}}(a)$$

donde:

E_{com} = Emisiones por producción de kg de concentrado en KgCO_2e

$EF_{\text{prod.}}$ = factor de emisión por producción por Kg en $\text{kg CO}_2\text{e}$

C_{conc} = consumo de concentrado en kg

Emisiones de GEI procedentes del uso de combustibles fósiles

La estimación de las emisiones de GEI procedentes de la quema de combustible fósil consumido, en el uso de equipo menor (picadoras y bombas), el transporte de insumos de locales comerciales a la finca y de leche cruda a la planta de acopio, se realizó siguiendo la metodología de nivel 1 del IPCC (2006). Para determinar el consumo de combustible utilizado en transporte a los centros de acopio, se cuantificó el recorrido en km con una frecuencia de 365 días, tomando en cuenta que el carro colecta leche de otros productores se le estimó el porcentaje que le correspondía a cada productor en 5% del total de las emisiones por combustible consumido del vehículo.

$$Emisiones = \sum(a) Combustible(a) * FE(a)$$

donde:

Emisiones= emisiones de CO₂ (kg)

Combustible = consumo de combustible (TJ)

EF= factor de emisión (kg/TJ)

a= tipo de combustible

Los factores de emisión utilizados fueron en el caso del Diesel el factor de emisión utilizado es de 2.83 Kg CO₂ l⁻¹, así mismo para el caso de la Gasolina el factor de emisión utilizado es de 2.33 Kg CO₂ l⁻¹ (IPCC 2006).

2.5 Análisis del ciclo de vida

El ACV de la producción de leche se delimitó a los procesos de la producción de la materia prima de la industria ganadera que en este caso es 1 kg de leche como producto principal y 1 kg de carne (variación de peso de crías lactantes). La intensidad en emisiones por unidad de producto (1 kg leche o 1 kg de carne) representan la cantidad de emisiones de GEI que se liberan para producir 1 kg CO₂e litro⁻¹ leche o kg CO₂e kg⁻¹ carne (huella de carbono), donde se incluyeron las emisiones por procesos de los animales y las emisiones por uso de insumos dentro y fuera de la finca hasta la llegada de la leche a la planta procesadora (Figura 3), bajo las condiciones particulares de las fincas del sistema doble propósito de la península de Azuero dependiendo del tipo de manejo.

Los datos fueron procesados con el protocolo de GEI desarrollado por World Resources Institute (WRI) y por World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) PAS2050. Para lo que se calcularon dos indicadores funcionales: $\sum \text{CO}_2\text{e (t) / GPCL}$ para emisiones por kg de leche y para las emisiones en la producción Kg de carne $\sum \text{CO}_2\text{e (t) / GPV}$.

Para determinar las emisiones a través del ACV por unidad de producto se contemplaron los siguientes supuestos específicos:

- Supuestos contemplados para la estimación de las emisiones (apéndice 3.2.1)
- El peso de todos los animales adultos se estimó en 400 Kg y para las emisiones por producción de carne se tomo la variación promedio de peso de las crías lactantes de cada grupo FMT y FMM estimada en 0.120 y 0.180 kg del peso en la época lluviosa y sin variación del peso en la época seca.
- Se incluyó la ponderación de las emisiones totales para leche y carne, con un porcentaje en las emisiones por categoría de vacas lactantes, vacas secas y crías, para leche con 98%, 100% y 20% respectivamente, y para carne se ponderaron las emisiones según las categorías de crías, novillas y toro con 100%, 7%,y 10%
- No se tomaron en cuenta las emisiones por fabricación de medicamentos, infraestructura (galeras, depósitos o corrales), maquinaria o equipos, fabricación de bolsas de empaques ya que no son relevantes dentro del proceso.
- No se tomó en cuenta el uso de energía eléctrica ya que no es relévate para los procesos productivos.

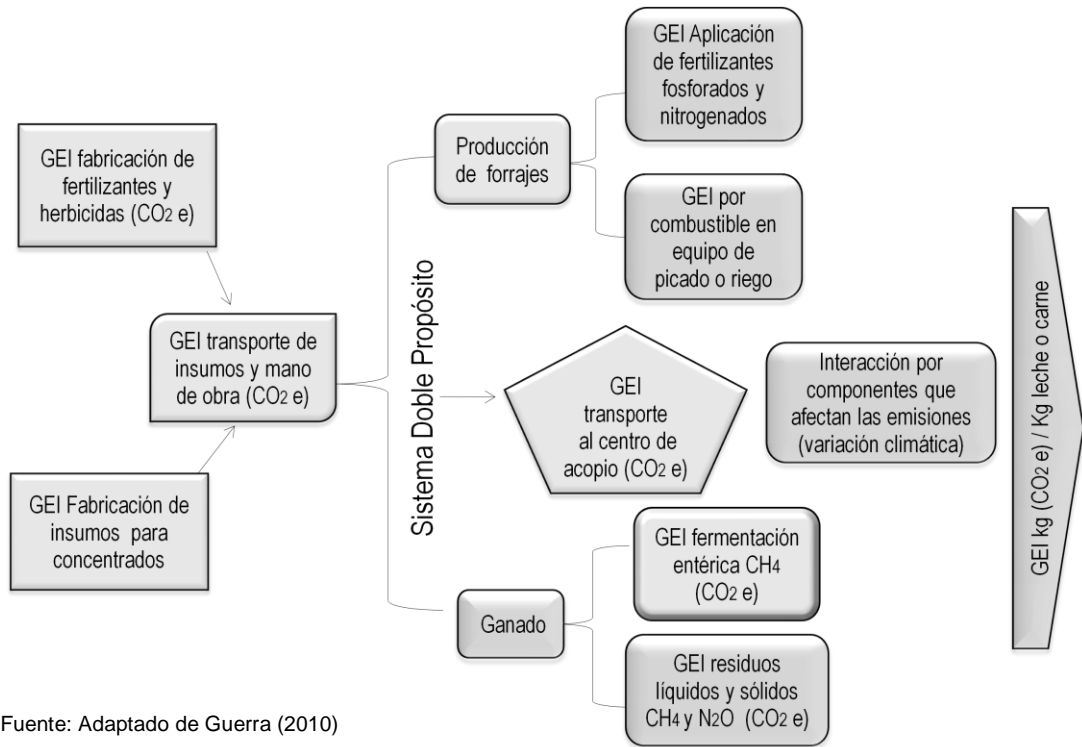


Figura 3. Diagrama de flujo de GEI para la producción de los SDP.

Los indicadores funcionales utilizados para la estimación de la presión ambiental del sistema doble propósito en relación a la emisión de GEI fueron:

$$kg\ CO_2e/kg\ leche = \sum CO_2e\ (t) / GPCL$$

donde

kg CO₂e/kg leche: emisiones de kg CO₂e por cada litro de leche producida.

∑CO₂e (t): sumatorias de las emisiones del alcance 1, 2 y 3.

GPCL: contenido de grasa y proteína corregida por la producción total de leche

El indicador funcional para la leche corresponde al contenido de grasa y proteína corregida por la producción de leche.

$$kg\ GPCL = (0.337 + 0.116 * G + 0.06 * P) * L$$

donde:

GPLC: grasa y proteína corregida por la producción de leche

G: porcentaje de grasa en la leche

P: porcentaje de proteína en la leche

L: total de leche producida por todas las vacas de la fincas

Respecto a la ganancia de peso de las crías lactantes la ecuación es la siguiente:

Para la ganancia de peso en crías lactantes se utilizó el indicador de variación de peso durante el año y estimar las emisiones por 1 kg de carne. Para analizar la producción en kg de carne en la categoría de crías lactantes, se tomó el peso al nacer de las crías y la variación de peso en el periodo de producción.

$$GPV = \frac{PTA-PI}{DÍAS}$$

donde:

GPV: ganancia de peso vivo (kg ternero⁻¹)

PTA: peso total del animal (kg ternero⁻¹)

PI: peso inicial

Días: cantidad de días del ciclo de ganancia de peso

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Tipificación y caracterización del Sistema doble propósito

A través de las entrevistas a los productores del SDP, se obtuvieron las características generales de manejo del sistema: 1) pastoreo extensivo, 2) ordeño una vez al día con apoyo del ternero (ternero al pie), 3) lactancia promedio de 300 días, 4) tipo de suplementación y 5) sin manejo de desechos. En este sentido se identificaron dos sistemas de manejo de finca: tradicional y mejorado. La diferencia entre ambas está enfocada principalmente en la estrategia de alimentación del ganado y la utilización de insumos externos. Para efectos del trabajo se seleccionaron tres fincas en cada tipo de sistema de manejo (tradicional o mejorado).

Para el manejo tradicional (FMT), se consideraron las fincas con las siguientes características:

- Predomina las pasturas naturales o naturalizadas⁸
- No tiene manejo de suplementación en época seca
- Menos del 30% de los pastizales en pasturas mejoradas
- Sin selección animal
- Sin uso de insumos externos

Las fincas clasificadas dentro de la categoría de manejo mejorado (FMM) presentaron las siguientes características:

- Estrategia de suplementación en verano
- Manejo rotacional en las pasturas para la época lluviosa
- Más del 65% en praderas para pastoreo en pasto mejorado
- Poca utilización de insumos externos para el manejo
- Selección animales

3.1.1 Características de las fincas seleccionadas

Fincas con manejo tradicional (FMT):

Estas fincas se caracterizan por el pastoreo extensivo el cual es la base de la alimentación, sin estrategia de suplementación y con baja o nula utilización de insumos externos, en algunos casos representada por baja utilización de herbicidas y el combustible por transporte de leche cuyo transporte es responsabilidad de empresa procesadora. El ordeño se realiza con ternero al pie, con un periodo de producción promedio de 300 días, para producir leche cruda, la que venden a la empresa Nestlé. La composición del hato de estas fincas se detalla en el cuadro 4.

⁸ Aquellos pastos que fueron introducidos en la región hace más de 3 décadas y que por su alto grado de adaptación se comportan como naturales.

Cuadro 4. Características de las fincas de manejo tradicional del sistema doble propósito en la península de Azuero, Panamá

		<i>FMT1</i>	<i>FMT2</i>	<i>FMT3</i>
Área total	ha	62	25	5
Área en ganadería	%	85.4	77.0	95.0
Vacas lactantes	Animal	18	10	7
Vacas secas	Animal	13	4	1
Sementales	Animal	1	1	1
Novillas +2 años	Animal	6	2	
Novillas de 1 año	Animal		2	1
Crías lactantes	Animal	18	10	7
Total animales		56	29	17
Promedio leche animal ⁻¹ día ⁻¹	Kg	3.13	2.65	3.43
Tasa de parición	%	52	55	53
Promedio ganancia de peso (terneros)	Kg	0.10	0.12	0.12
Carga animal	UA	0.73	1.03	2.13

Los usos de suelo presentes en las fincas están representados en su mayoría por pasturas degradadas (más del 60%), cuya producción de forraje es deficiente por lo tanto compromete la disponibilidad del mismo. La mayor presencia de árboles del sistema está en las cercas vivas, pequeñas áreas de tacotal o monte y en las áreas ribereñas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Usos de suelos presentes en finca de manejo tradicional del sistema doble propósito en la península de Azuero, Panamá

Uso de suelo		<i>FMT1</i>	<i>FMT2</i>	<i>FMT3</i>
PND	%	64.5	54.1	65.0
PM	%	14.5	25.0	20.0
PMB	%	4.8		
BF	%	1.6	1.0	
AT	%			10.0
CV	%	5.5	10.4	20.0
CR	%	6.4		

PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PMB: pasturas mejoradas con baja densidad de árboles; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; BF: bancos forrajero de gramínes; AT: área de tacotal; CR: corredor ribereño

La mayor proporción en área de forrajes está compuesta de pasturas naturales o naturalizadas como la *Bothriochloa pertusa e Hyparrhenia rufa* y en menor proporción con pastos mejorados como *Cynodon dactylon*, *Digitaria suazilandensis* y *Braquiarias (decumbens y brizantha)*. Además, algunas fincas cuentan con un área de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) la cual utilizan para la producción de miel para la venta y solo el bagazo es utilizado para la alimentación animal. La disponibilidad de forraje en la época seca disminuye y estas fincas no presentaron una estrategia de suplementación (Cuadro 6), por lo que se considera para el cálculo de las emisiones una deficiencia en la ración respecto de los requerimientos del animal >40% para las FMT 2 y FMT 3, esta deficiencia fue estimada a través de la producción de biomasa que presenta la finca y por observación en la condición corporal y la variación de peso de los animales según época. Para la FMT1 se aplicó una restricción del 5%, ya que cuenta con más área y la carga animal es más baja en comparación con las otras fincas.

Cuadro 6. Aporte de la alimentación consumida por los animales de las Finca de manejo tradicional del sistema doble propósito en la península de Azuero, Panamá

Componente	FMT1					
	Lluviosa			Seca		
	MS kg ⁻¹ día ⁻¹	kg MS Digerible	kg PC	MS kg ⁻¹ día ⁻¹	kg MS Digerible	kg PC
<i>Bothriochloa pertusa</i>	3.00	1.80	0.27	2.20	1.10	0.07
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	0.90	0.48	0.09	0.40	0.17	0.02
<i>Brachiaria Brizantha</i>	6.00	3.90	0.60	5.50	3.30	0.22
Rastrojo de maíz**				0.40	0.26	0.02
Sal mineral	0.10	0.10		0.05	0.05	
<i>Saccharum officinarum</i> *				0.90	0.49	0.07
Promedio DIVMS %	62.77			50.89		
Promedio PC %	10			3		

Componente	FMT2					
	Lluviosa			Seca		
	MS Kg ⁻¹ día ⁻¹	Kg MS Digerible	Kg PC	MS Kg ⁻¹ día ⁻¹	Kg MS Digerible	Kg PC
<i>Bothriochloa pertusa</i>	4.00	2.40	0.36	2.50	1.25	0.08
<i>Digitaria suazilandensis</i>	0.50	0.28	0.05	0.20	0.09	0.03
<i>Digitaria decumbens</i>	0.50	0.37	0.06	0.80	0.50	0.05
<i>Brachiaria Brizantha</i>	5.00	3.25	0.50	3.00	1.65	0.12
<i>Saccharum officinarum</i> *				1.00	0.54	0.03
Promedio DIVMS %	62.90			40.34		
Promedio PC %	10			3		

Componente	FMT3					
	Lluviosa			Seca		
	MS Kg ⁻¹ día ⁻¹	Kg MS Digerible	Kg PC	MS Kg ⁻¹ día ⁻¹	Kg MS Digerible	Kg PC
<i>Bothriochloa pertusa</i>	6.00	3.60	0.60	4.00	2.20	0.12
<i>Digitaria suazilandensis</i>	3.90	2.07	0.37	2.00	0.95	0.10
Rastrojo**				1.00	0.70	0.04
Sal mineral	0.10	0.10		0.10	0.11	
Promedio DIVMS %	57.67			36.0		
Promedio PC %	10			3		

** Forraje seco de Maíz utilizado en la época seca

Fincas con manejo mejorado (FMM):

En este sistema el manejo de los animales es de ordeño con ternero al pie, con un periodo de producción promedio de 300 días para la producción de leche cruda, que venden a empresas del área para leche fluida y queserías. Se caracterizaron en las fincas los parámetros de los animales (Cuadro 7) y lo tipos de usos de suelos (Cuadro 8).

En esta finca predominaron las pasturas mejoradas. El manejo rotacional en cuadras es en la época lluviosa ya que la disponibilidad del forraje es buena (finales de mayo a noviembre) y la época seca (diciembre a inicio de mayo) la producción de forraje disminuye para lo que el productor maneja estrategias de suplementación en los potreros (*at livitun*) con forraje de corte, heno o silos (Cuadro 9)

Estas fincas se enmarcaron dentro del sistema con manejo mejorado donde la alimentación está compuesta por pasturas mejoradas, bancos forrajeros y suplementos (concentrados y silos). También utilizan insumos externos (herbicidas y fertilizante, combustibles para proceso dentro de la finca).

Cuadro 7. Características de las fincas de manejo mejorado del sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá

		<i>FMM1</i>	<i>FMM2</i>	<i>FMM3</i>
Área total	ha	17	18	20
Área ganadera	%	98.5	84.7	82.5
Vacas lactantes	animal	18	18	15
Vacas secas	animal	2	9	9
Sementales	animal	1	1	1
Novillas +2 años	animal			4
Novillas 1 año	animal	4	5	3
Crías lactantes	animal	18	16	14
Total animales		43	49	46
Promedio leche animal ⁻¹ día ⁻¹	Kg	6.57	5.78	4.17
Tasa de parición	%	65	60	65
Promedio ganancia de peso (terneros) año ⁻¹	kg	0.18	0.17	0.20
Carga animal	UA	1.64	1.86	1.67

Cuadro 8. Usos de suelos presentes en finca de manejo mejorado del Sistema doble propósito de la península de Azuero en Panamá

Uso de suelo		<i>FMM1</i>	<i>FMM2</i>	<i>FMM3</i>
PND	%	23.5	18.0	17.5
PM	%	70.6	66.6	40.0
PMB	%			20.0
BF	%	4.4		5.0
CV	%	17.6	16.6	20.0
CR	%			2.5

PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PMB: pasturas mejoradas con baja densidad de árboles; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; BF: bancos forrajero de gramínes; AT: área de tacotal; CR: corredor ribereño

Cuadro 9. Aporte de la alimentación consumida por los animales de las fincas de manejo mejorado del sistema doble propósito de Azuero, Panamá

Componente	FMM1					
	Lluviosa			Seca		
	MS Kg ⁻¹ día ⁻¹	Kg MS Digerible	Kg PC	MS Kg ⁻¹ día ⁻¹	Kg MS Digerible	Kg PC
<i>Bothriochloa pertusa</i>	2.00	1.20	0.18	0.50	0.25	0.02
<i>Digitaria decumbens</i>	3.70	1.96	0.37	2.00	0.86	0.10
<i>Brachiaria Brizantha</i>	3.50	2.28	0.30	2.30	1.27	0.09
Concentrado	0.70	0.60	0.13	1.00	0.50	0.70
Sal mineral	0.10	0.09		0.05	0.03	
<i>Sorghum vulgare*</i>				1.10	0.64	0.64
Ensilaje de maíz*				1.50	1.01	0.14
<i>Saccharum officinarum*</i>				1.50	0.81	0.04
Promedio DIVMS%	61.16			53.59		
Promedio PC %	10			11		
Componente	FMM2					
	Lluviosa			Seca		
	MS Kg ⁻¹ día ⁻¹	Kg ⁻¹ Kg MS Digerible	Kg PC	MS Kg ⁻¹ día ⁻¹	Kg MS Digerible	Kg PC
<i>Bothriochloa pertusa</i>	2.80	1.68	0.36	1.00	1.15	0.03
<i>Brachiaria Brizantha</i>	7.00	4.55	0.57	5.30	2.92	0.21
Concentrado	0.10	0.17	0.09	0.40	0.34	0.05
Sal mineral	0.10	0.05		0.10	0.10	
Heno <i>D. suazilandensis</i>				1.20	0.66	0.07
Forraje de corte*				2.00	1.30	0.36
Promedio DIVMS %	63.15			58.15		
Promedio PC %	10			7		
Componente	FMM3					
	Lluviosa			Seca		
	MS Kg ⁻¹ día ⁻¹	Kg MS Digerible	Kg PC	MS Kg ⁻¹ día ⁻¹	Kg MS Digerible	Kg PC
<i>Bothriochloa pertusa</i>	2.50	1.50	0.23	0.70	0.35	0.02
<i>Hyparrhenia rufa</i>	0.10	0.05	0.01			
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	0.30	0.16	0.03	0.40	1.72	0.02
<i>Brachiaria Brizantha</i>	4.00	2.60	0.40	2.00	1.10	0.08
Concentrado	0.10	0.07	0.01	0.80	0.78	0.14
<i>B. brizantha</i> (Toledo)	3.00	2.55	0.29	2.80	1.54	0.17
Sal mineral	0.05	0.04		0.05	0.05	
<i>Saccharum officinarum*</i>				2.80	1.51	0.39
Pasto picado*				1.00	0.65	0.18
Promedio DIVMS %	69.71			61.55		
Promedio PC %	9			9		

*Suplementación en la época seca

3.1.2 Emisiones de CH₄ por fermentación entérica

Las emisiones promedio en FMT y FMM según las categorías animales de vacas lactantes, sementales, vacas secas, novillas +2 años, novillas de 1 año y crías lactantes, fueron para las FMT de 0.330; 0.269; 0.231; 0.132; 0.048 y 0.59 kg animal⁻¹ día⁻¹ y para las FMM 0.221; 0.192; 0.152; 0.129; 0.129 y 0.049 kg animal⁻¹ día⁻¹ respectivamente, siendo las categorías de mayor emisión las que incluyen los animales adultos (Cuadro 10 y 11).

Cuadro 10. Emisiones de CH₄ kg animal⁻¹ día⁻¹ por fermentación entérica de FMT del sistema doble propósito de Azuero, Panamá

<i>Categorías</i>	<i>FMT1</i>		<i>FMT2</i>		<i>FMT3</i>	
	<i>Lluviosa</i>	<i>seca</i>	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>
Vacas lactantes	0.229	0.319	0.224	0.474	0.263	0.472
Semental	0.183	0.261	0.180	0.358	0.211	0.422
Vacas secas	0.156	0.222	0.144	0.311	0.183	0.367
Novillas+ 2	0.096	0.096	0.117	0.218		
Novillas 1-2			0.068	0.126		
Crías lactante	0.049	0.055	0.037	0.069	0.057	0.091
Total	0.713	0.952	0.770	1.555	0.714	1.351

Cuadro 11. Emisiones de CH₄ kg animal⁻¹ día⁻¹ por fermentación entérica de FMM del sistema doble propósito de Azuero, Panamá

<i>Categorías</i>	<i>FMM1</i>		<i>FMM2</i>		<i>FMM3</i>	
	<i>Lluviosa</i>	<i>Seca</i>	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>
Vacas lactantes	0.249	0.255	0.205	0.276	0.167	0.171
Semental	0.183	0.219	0.141	0.247	0.184	0.172
Vacas secas	0.146	0.182	0.138	0.181	0.124	0.138
Novillas 2	0.112	0.140			0.131	0.132
Novillas 1-2			0.280	0.079	0.078	0.078
Crías lactantes	0.058	0.057	0.045	0.045	0.043	0.044
Total	0.747	0.855	0.811	0.830	0.728	0.738

Los valores obtenidos de CH₄ por fermentación entérica con tendencia similar y valores similares a los rangos encontrados por Abreu et ál. (2004) quienes obtuvieron para vacas lactantes y vacas secas valores entre los rangos de 0.225 a 0.347 y de 0.204 a 0.286 kg

CH₄ animal⁻¹ día⁻¹ respectivamente. A diferencia de Messa (2009), que obtuvo los mayores valores en la categoría de novillas >2 año, seguido de las vacas lactantes y toros con valores de 0.284, 0.261 y 0.260 kg CH₄ animal⁻¹ día⁻¹ respectivamente, pero siendo los valores muy similares a los de este trabajo.

Mora (2001) en fincas lecheras especializadas evaluando los efectos en las emisiones con diferentes niveles de insumos, obtuvo en promedio para las emisiones de CH₄ entérico en fincas con niveles bajos, medios y altos de insumos, emisiones de 0.388; 0.463 y 0.470 Kg animal⁻¹ día⁻¹ respectivamente. En estudios de fincas SDP de Costa Rica, Montenegro y Abarca (2001a) obtuvieron en animales adultos promedios de 0.252 y 0.234 Kg CH₄ animal⁻¹ día⁻¹ en diferentes años. No obstante, un estudio realizado en Venezuela en una finca SDP por Messa (2009) obtuvo rangos más bajos a los obtenidos en el presente trabajo, cuyos valores de emisión de CH₄ en vacas lactantes y vacas secas fueron de 0.261 y 0.180 Kg animal⁻¹ día⁻¹.

Westberg citado por Mora (2001), se refiere a la relación del consumo de MS con las emisiones de CH₄, para lo que concluye que las vacas lactantes al tener un consumo mayor en MS emiten más CH₄ que otras categorías. Abreu et ál. (2004), se refirió a las emisiones de CH₄ en ganado lechero, señalando que estas varían con la dieta, la raza y estado fisiológico del animal, mientras que Johnson y Johnson (1995), mencionan factores que determinan la producción de CH₄ como el consumo y valor nutritivo del alimento, carbohidratos y la manipulación de micro flora ruminal.

Para las emisiones por época según tipo de manejo en finca respecto al CH₄, fueron en la época seca mayor que para la época lluviosa. Este incremento de emisión en la época seca es más significativo en las FMT ya que al disminuir la calidad de la ración (Cuadro 5), incrementan las emisiones (Eckard et ál. 2010). En trabajos de investigación se ha determinado que las dietas donde hay deficiencia en nutrientes esenciales para los microorganismos del rumen, la producción de CH₄ es aproximadamente de 15 a 18% de la energía digestible suministrada. Se estiman las emisiones por ganado bovino en países en vías de desarrollo con 55 Kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹, en comparación con la de países desarrollados con 35 Kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹ lo que está relacionado a la calidad de la dieta que se maneja (Kinsman et ál. 1995 citado por Carmona et ál 2005). Por categoría animal en Kernebeek y

Gerber (2008) en la India, obtuvieron en lecherías típicas de la zona para las categorías de terneros y vacas seca emisiones aproximadas de 0,026 y 0.106 kg CH₄ animal⁻¹ día⁻¹, siendo estos valores relativamente bajos en relación a los obtenidos en este estudio.

Según las emisiones por unidad animal (UA) de CH₄ por fermentación entérica, se pudo observar el comportamiento de estas emisiones por tipo de manejo, obteniéndose principalmente en la FMT una variación entre épocas, dándose el caso que en una de las fincas para la época seca se llegan a duplicar las emisiones en relación con la época lluviosa (Figura 4). En cambio en las FMM, por el manejo de la dieta con la suplementación, no se observó diferencias entre épocas (Figura5), tomando en consideración que el manejo de las dietas de cada FMM es diferente al de las FMT, con el propósito de mantener los niveles productivos.

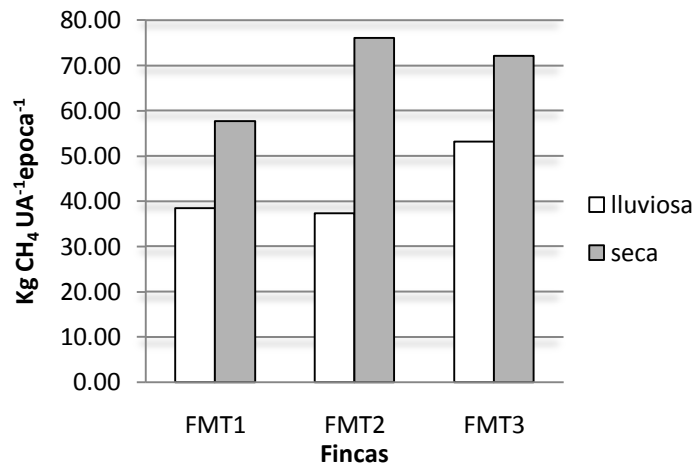


Figura 4. Emisión en kg CH₄ por fermentación entérica UA⁻¹ epoca⁻¹ de FMT del sistema doble propósito la península de Azuero, Panamá

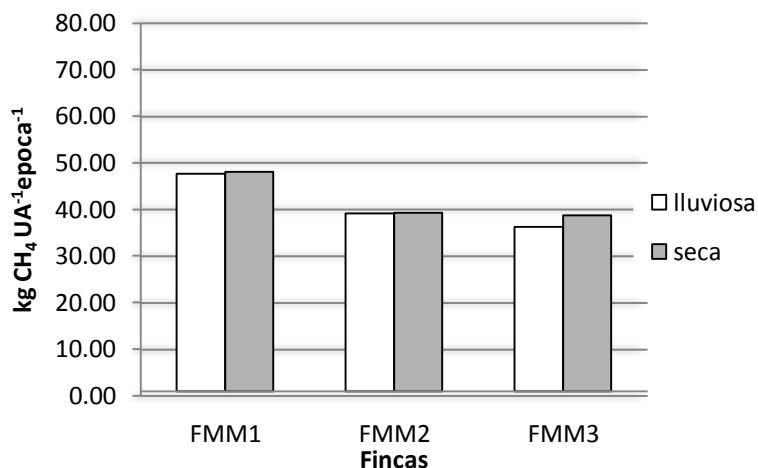


Figura 5. Emisión de CH₄ por fermentación entérica kg UA⁻¹ epoca⁻¹ de FMM del sistema doble propósito la península de Azuero, Panamá

Las emisiones de CH₄ por fermentación entérica comprenden del 96% y 98% de las emisiones totales del FMT y FMM respectivamente. Sin embargo, Mora (2002) en fincas de lechería especializada de altura de Costa Rica, encontró menores emisiones entéricas en relación al total de la finca de 55.7%, 69.9% y 72.7% según el manejo de intensificación bajo, medio y alto respectivamente.

3.1.3 Emisiones de CH₄ y N₂O por los residuos animales.

Emisiones de CH₄ por residuos

Las emisiones por excretas están relacionadas al manejo y la duración del almacenamiento de estas. Es importante mencionar que estas fincas no presentan ningún manejo a los residuos quedando estos en su totalidad en los potreros.

Cuadro 12. Emisiones de CH₄ kg animal⁻¹ día⁻¹ por residuos según época en las FMT del sistema doble propósito de Azuero, Panamá

<i>Categorías</i>	<i>FMT1</i>		<i>FMT2</i>		<i>FMT3</i>	
	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>
Vacas lactantes	0.005	0.009	0.008	0.016	0.006	0.017
Semental	0.004	0.007	0.004	0.012	0.005	0.014
Vacas secas	0.003	0.006	0.007	0.010	0.004	0.012
Novillas +2	0.002	0.004	0.002	0.007		
Novillas 1-2			0.001	0.004		
Crías lactantes	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.003
Total	0.015	0.028	0.025	0.052	0.017	0.047

Cuadro 13. Emisiones de CH₄ kg animal⁻¹ día⁻¹ por residuos según época en las FMM del sistema doble propósito de Azuero, Panamá

<i>Categorías</i>	<i>FMM1</i>		<i>FMM2</i>		<i>FMM3</i>	
	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>
Vacas lactantes	0.006	0.007	0.005	0.007	0.003	0.005
Sementales	0.004	0.006	0.006	0.006	0.003	0.004
Vacas secas	0.003	0.005	0.004	0.004	0.002	0.003
Novillas +2	0.002	0.004			0.002	0.002
Novillas 1-2			0.002	0.002	0.001	0.002
Crías lactantes	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
Total	0.016	0.023	0.018	0.020	0.012	0.017

La dinámica en las emisiones de CH₄ por residuos según categoría animal es similar a la obtenida en la fermentación entérica donde las categorías animales de mayor emisión son las vacas lactantes y los sementales con 34% y 24% respectivamente en emisiones totales de CH₄ por residuo.

Las emisiones variaron según la época (seca y lluviosa) obteniéndose los mayores valores en la época seca, donde las FMT (Cuadro 13) mostraron un incremento significativo en las emisiones de todas las fincas llegando a duplicar las emisiones en uno de los casos, lo que se relaciona con la disminución de la producción de forraje y las deficiencias en el balance de la ración. Diferente comportamiento se obtuvo en las emisiones para la época seca de las FMM (Cuadro 14), las que presentaron tendencia a incrementar en menor intensidad (Figura

6 y 7). Para las FMT se obtuvo rangos entre 0.01a 0.005 kg CH₄ animal⁻¹día⁻¹ y para las FMM, los rangos entre 0.006 a 0.004 kg CH₄ animal⁻¹ día⁻¹ respectivamente, donde la mayor variación se presentó en las FMT. Messa (2009) en un sistema doble propósito obtuvo similar comportamiento donde la categoría de mayor emisión fue las vaca lactante, y los rangos de emisión fueron similares a los de este trabajo de con valores entre 0.003 a 0.008 kg CH₄ animal⁻¹ día⁻¹ respectivamente.

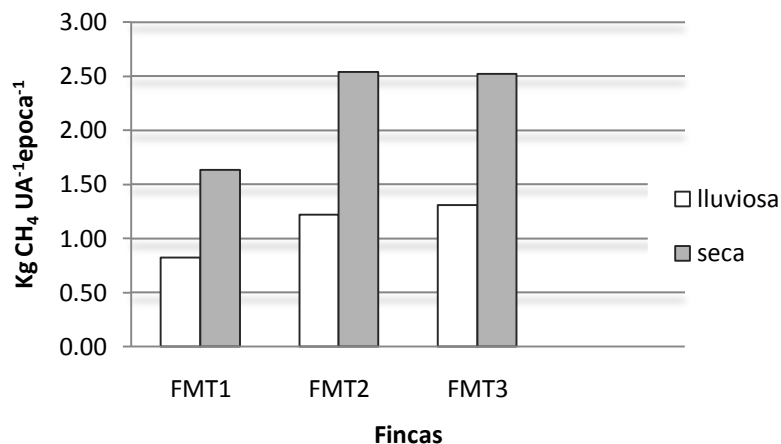


Figura 6. Emisión de CH₄ por residuos UA⁻¹ epoca⁻¹ de FMT del sistema doble propósito de fincas de la península de Azuero, Panamá

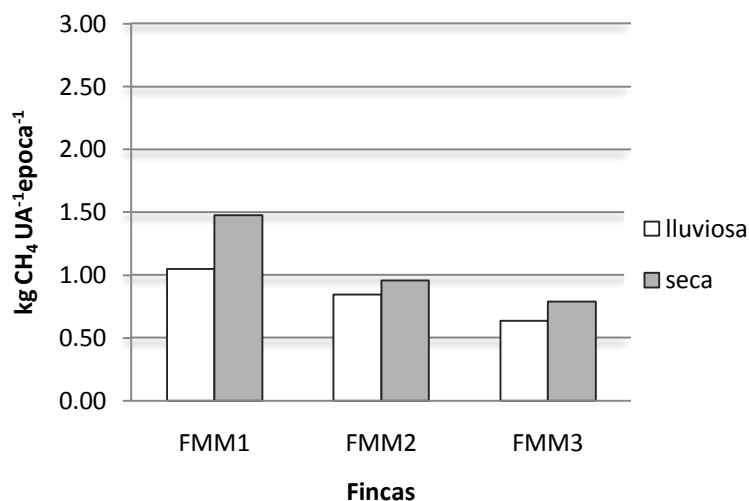


Figura 7. Emisión de CH₄ por residuos UA⁻¹ epoca⁻¹ FMM del sistema doble propósito de fincas de la península de Azuero, Panamá

Resultados mayores reportó Mora (2001) en sistemas especializados con diferentes tipos de fincas (según la utilización de insumos) donde para las emisiones de CH₄ por

residuos se obtuvieron los rangos de 0.018 a 0.036 kg CH₄ animal⁻¹ día⁻¹ respectivamente, a lo que se refieren, Abarca y Montenegro (2001) afirmando que las vacas doble propósito emiten cantidades de metano semejantes a las estimadas para vacas en sistemas de carne e inferiores al de lechería especializada.

Emisiones de N₂O por residuos

Las emisiones de N₂O por residuos están relacionadas con la cantidad de proteína cruda (PC) ingerida por el animal. Las categorías animales de mayor emisión en ambos tipos de manejo FMT (Cuadro 14) y FMM (Cuadro 15), son vaca lactante y semental, donde el porcentaje de las emisiones totales de N₂O por residuos varía entre fincas del 33 al 40% para vacas lactantes y el 20 al 16% para sementales respectivamente al manejo.

Cuadro 14. Emisiones de N₂O kg animal⁻¹ día⁻¹ por residuos según época en las FMT del sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá.

<i>Categorías</i>	<i>FMT1</i>		<i>FMT2</i>		<i>FMT3</i>	
	lluviosa	seca	lluviosa	seca	lluviosa	seca
Vacas lactante	0.005	0.002	0.005	0.003	0.006	0.002
Semental	0.004	0.002	0.004	0.002	0.005	0.002
Vacas secas	0.003	0.001	0.003	0.002	0.004	0.002
Novillas +2	0.002	0.001	0.003	0.001		
Novillas 1-2			0.001	0.0005	0.000	0.000
Crías lactantes	0.0003	0.0001	0.0003	0.0002	0.0004	0.0001
Total	0.014	0.006	0.015	0.009	0.014	0.006

Cuadro 15. Emisiones de N₂O kg animal⁻¹ día⁻¹ por residuos según época en las FMM del sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá.

<i>Categorías</i>	<i>FMM1</i>		<i>FMM2</i>		<i>FMM3</i>	
	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>	<i>lluviosa</i>	<i>seca</i>
Vacas lactante	0.006	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003
Semental	0.004	0.004	0.003	0.002	0.004	0.003
Vacas secas	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002	0.003
Novillas +2	0.002	0.004			0.003	0.003
Novillas 1-2			0.006	0.004	0.001	0.001
Crías lactantes	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0003	0.0003
Total	0.015	0.019	0.018	0.013	0.013	0.013

Los valores obtenidos para las categorías de crías lactantes y vacas lactantes varían entre época de 0.0001 a 0.0004 Kg N₂O animal⁻¹ día⁻¹ y 0.003 a 0.006 Kg N₂O animal⁻¹ día⁻¹ respectivamente, siendo estos rangos iguales a los obtenidos por Mora (2001) donde vacas en sistemas especializados obtuvo rangos de 0.003 a 0.006 Kg N₂O animal⁻¹ día⁻¹. En otro trabajo en SDP de Venezuela por Messa (2009) obtuvo valores similar para la categoría de vaca lactante 0.007 Kg N₂O animal⁻¹ día⁻¹ y mayores en la categoría de las crías lactantes en relación a las emisiones de N₂O por residuos de 0.003.

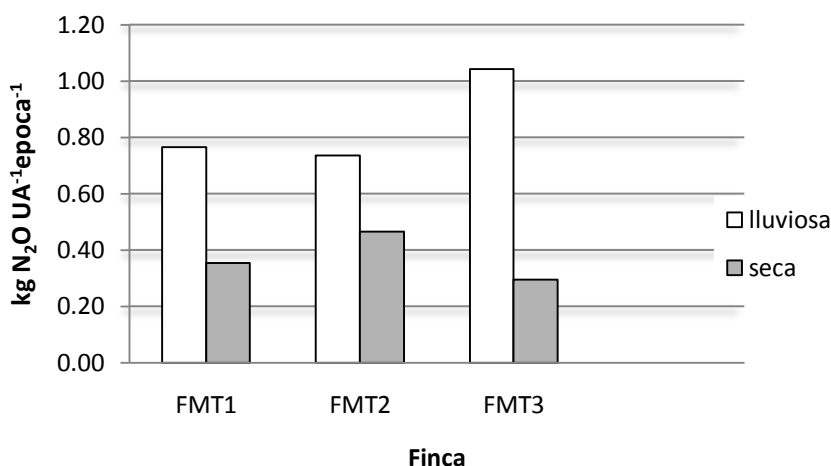


Figura 8. Emisiones de N₂O por residuos UA⁻¹ época⁻¹ de FMT del sistema doble propósito de fincas de la península de Azuero, Panamá

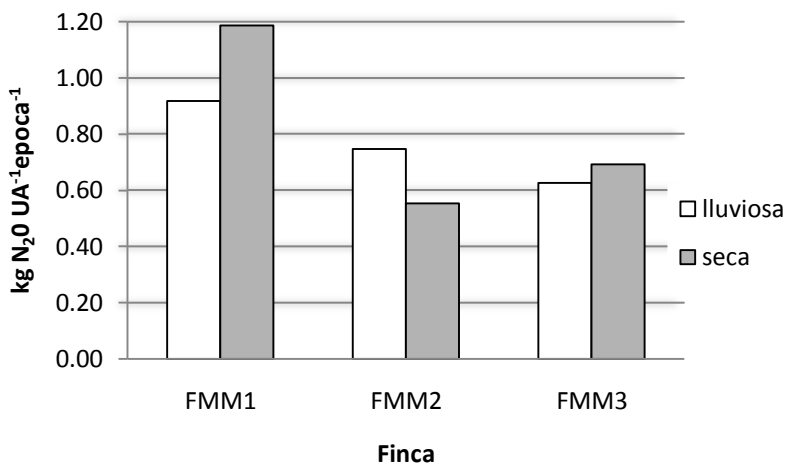


Figura 9. Emisiones de N₂O por residuos UA⁻¹ época⁻¹ de FMM del sistema doble propósito de fincas de la península de Azuero, Panamá

En este trabajo se pudo apreciar que en la época lluviosa se dieron los valores mayores para ambos tipos de manejo en finca (FMT y FMM), los cuales están entre los rangos de 0.626 y 1.042 kg UA⁻¹época⁻¹, relacionado a la mayor disponibilidad y mejor calidad de pastos (mayor contenido de PC en el forraje y su relación con la energía del mismo). Para la época seca la tendencia en las FMT es a reducir (Figura 8), a diferencia de las FMM (Figura 9) que no muestran la misma tendencia, ya que en la época seca mantiene los valores y en algunos casos mostraron leves incrementos en estas emisiones. Guerra (2008), obtuvo en las emisiones de N₂O residuo en sistemas doble propósito de Esparza obtuvo incremento de las emisiones para la épocas de lluvia entre los rangos del 10% y 12% en comparación a las de la época seca relacionado a las categorías de vacas secas, terneros, novillas y toros, a diferencia de las vacas paridas las cuales obtuvieron incremento del 26% de las emisión en la época seca, lo que se relaciona con la manipulación de la dieta.

Eckard et ál. (2010) citó a Miller et ál. (2001) y a Misselbrook et ál. (2005) que en estudios con el balance nutricional de la dietas (PC vs energía) y su relación con las emisiones de N₂O derivada de la excreción urinaria de nitrógeno (N), afirman que a mayor concentración de proteína, mayor emisión de N₂O, donde obtuvieron que vacas alimentadas con una dieta de 14% de PC, emiten 45% menos de N que vacas alimentadas con 19% PC.

Emisiones totales por proceso animal en CO₂e

Al transformar las emisiones de los otros gases a CO₂e, se integraron todas las emisiones y se obtuvieron las emisiones totales en cada categoría según manejo, y se pudo observar que las categorías de mayor emisión son los animales adultos en ambos tipos de manejo de finca, donde para las FMT obtuvo el mayor valor en emisiones las vacas lactante y el menor la categoría de novilla 1-2 año (Cuadro 16). En las FMM las categorías de mayor emisión fueron los animales adultos vacas lactante, vacas secas y sementales y la de menor fue la de crías lactantes (Cuadro 17).

Cuadro 16. Promedio de emisiones animales totales en kgCO₂e año⁻¹ según categoría y tipo de gas de las FMT del sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá.

Categoría	Ferm_ent_CH ₄ (kgCO ₂ e año ⁻¹)	Res_CH ₄ (kgCO ₂ e año ⁻¹)	Res_N ₂ O (kgCO ₂ e año ⁻¹)	Emisión total
Vacas lactantes	2523.09	78.28	430.75	3032.12
Vacas secas	1762.65	55.40	283.80	2101.85
Semental	685.22	19.89	117.36	822.46
Novillas >2	600.48	17.62	97.87	715.97
Novillas 1-2	339.24	9.40	45.67	394.31
Crías lactantes	454.78	12.47	25.47	492.72

Cuadro 17. Promedio de emisiones animales totales kgCO₂e año⁻¹ según categoría y tipo de gas de las FMM del sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá.

Categoría	Ferm_ent_CH ₄ (kgCO ₂ e año ⁻¹)	Res_CH ₄ (kgCO ₂ e año ⁻¹)	Res_N ₂ O (kgCO ₂ e año ⁻¹)	Emisión total
Vacas lactantes	1064.27	23.48	337.57	1425.32
Vacas secas	779.45	17.12	246.41	1042.97
Novillas +2	852.46	18.39	277.25	1148.10
Semental	734.80	16.05	220.83	971.68
Novillas 1-2	320.60	6.39	57.77	384.76
Crías	249.13	5.45	23.57	278.14

En las FMT las emisiones totales en kg CO₂e por vacas lactantes llegaron a duplicar las emisiones de las FMM, correspondiendo a los valores de 3032.1 y 1425.3 kg CO₂e animal⁻¹ año⁻¹ respectivamente. Las emisiones por las categorías de vacas lactantes y vacas seca, representan el 67% en las FMT y 47% para las FMM, similares proporciones obtuvo Messa (2009) donde las vacas lactantes y secas obtuvieron 66% de las emisiones totales.

Estos resultados fueron similares a los de Messa (2009), donde obtuvo emisiones promedio para animales adultos de 2.58 t CO₂e animal⁻¹ año⁻¹. Mora (2001), reportó emisiones en vacas lecheras en sistemas de producción especializado, con fincas de manejo bajo y medio en niveles de insumos, valores de 3.21 y 3.85 t CO₂e animal⁻¹ año⁻¹ respectivamente.

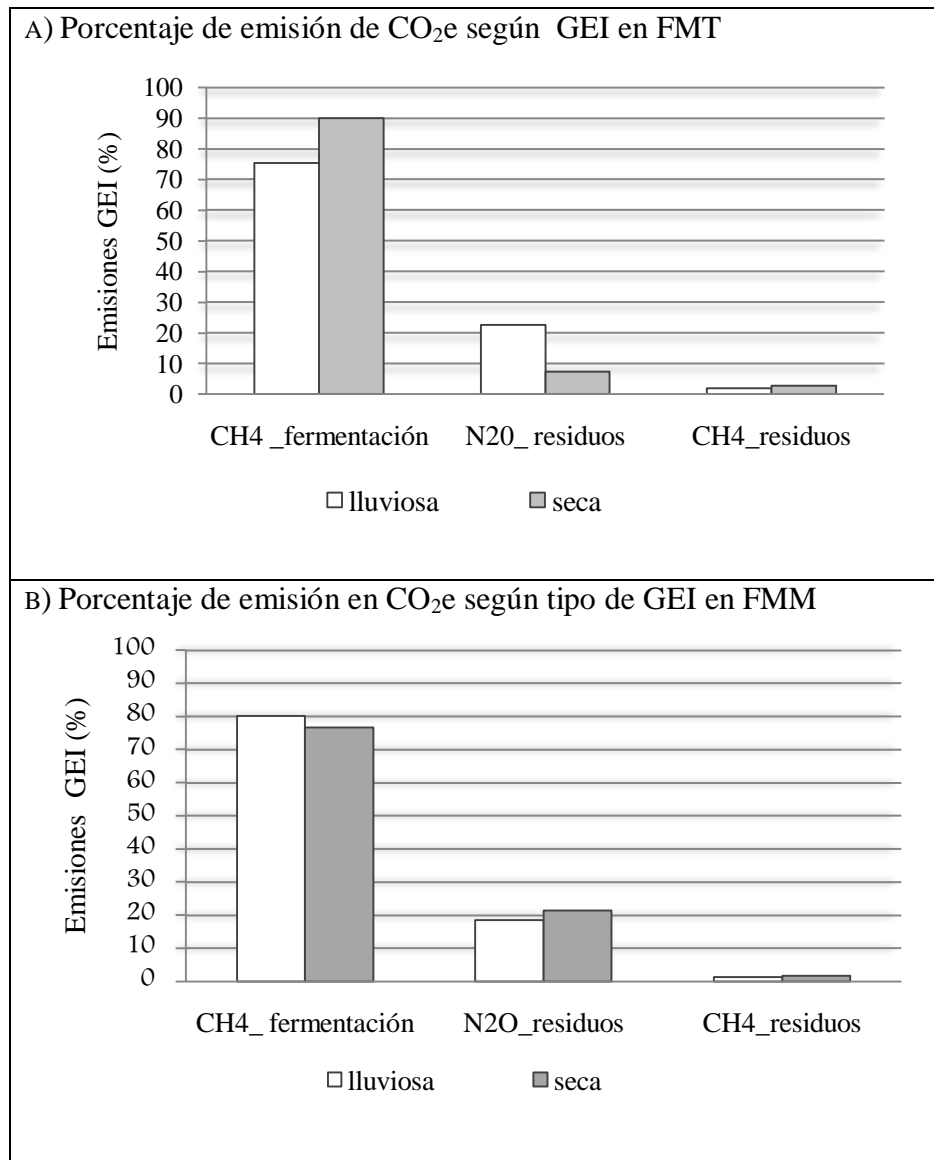


Figura 10. Porcentaje por producción de gas según tipo de manejo del sistema doble propósito de fincas de la península de Azuero, Panamá

En relación al total de las emisiones por gas en CO₂e, la mayor producción de gas se da en el proceso de fermentación y el gas de mayor producción es el CH₄ (Figura10), las emisiones para las FMT representan de CH₄ por fermentación del 75 a 90%, CH₄ por residuos 2 a 3% y N₂O por residuos 22.5 a 7.3% y para las FMM representan de CH₄ por fermentación del 76-80%, CH₄ por residuos 1.2 a 2% y N₂O por residuos 18 a 21%, proporciones similares obtuvieron Mora (2001), Casey y Holden (2005) y Messa (2009) en diferentes sistemas de producción, pero obteniendo siempre con mayor proporción las emisiones de CH₄ por fermentación entérica.

3.1.4 Emisiones por insumos agropecuarios y consumo de combustible fósil en CO₂e.

En estos sistemas la utilización de fertilizantes no es una actividad frecuente, se da principalmente en las fincas que tienen bancos forrajeros de gramínea⁹. Las formulas utilizadas con mayor frecuencia es la Urea (46% N), abonos fosforados y abonos completos (12-24-12 o 15-30-15) en las pasturas o bancos forrajeros.

a. Fertilizantes y herbicidas

Para determinar las emisiones por la utilización de estos agroquímicos en las fincas, se utilizaron los factores de emisión del IPCC (2006) para uso y volatilización. A través del SimaPro 7.2 se obtuvieron los factores por fabricación de herbicida y fertilizante para realizar el análisis de ciclo de vida por la producción de 1 Kg de Urea, 1Kg de abono fosforado y 1 kg de herbicida 2-4D (Cuadro18 y 19).

Cuadro 18. Emisiones por procesos y uso de agroquímicos del sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá

Insumo	Factor Emisión kg CO ₂ e (IPCC 2006)		SimaPro 7.2	Total
	Volatilización Kg CO ₂	Uso Kg CO ₂	Producción Kg CO ₂ *	Kg CO ₂
N 46%	0.1	0.3	3.3	3.7
Fosforado			2.82	3.12
Herbicida (2-4D)			3.06	3.06

Cuadro 19. Volumen de agroquímicos y emisiones por finca del sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá.

	FMT1	FMT2	FMT3	FMM1	FMM2	FMM3
Fertilizante sintéticos kg			136.0			453.60
Emisiones uso (kg CO ₂ e año ⁻¹)			40.91			136.07
Emisiones fabricación (kg CO ₂ e año ⁻¹)			384.5			1388.00
Herbicida (litros)*	37	6	10	10	37	15.00
<i>Emisiones (kg CO₂e año⁻¹)</i>	113.22	18.36	30.60	30.6	113.22	45.9

*Emisiones por fabricación,

⁹ Como banco forrajero en estas fincas nos referimos a Caña de azúcar.

En relación a las emisiones por utilización de fertilizantes y herbicidas, estas varían en relación al porcentaje de las emisiones por insumos según las fincas que los utilizan desde el 2 al 54%, pero un dato importante en relación a estas emisiones por fertilizante es que del total de las emisiones las emisiones por fabricación representan más del 90%.

b. Combustible

Se utilizaron los factores genéricos del IPCC (2006) para el cálculo de las emisiones por uso (Cuadro 20). El consumo de combustible en este sistema se concentra principalmente en las actividades de adquisición de insumos, transporte de producto al punto de acopio y el utilizado en equipos menores como: picadoras, bombas de agua, moto bombas (Cuadro21). La mayor emisión por consumo de combustible fósil está en el transporte de la leche a las plantas de acopio o plantas procesadoras, lo que está en relación a la distancia del productor al centro de acopio.

Cuadro 20. Factores de emisión según el IPCC 2006 por tipo de combustible fósiles.

<i>Combustible</i>	<i>kg CO₂e</i>
Diesel	2.83
Gasolina	2.33

Cuadro 21. Consumo y emisión por uso de combustible fósiles anuales del sistema doble propósito de Azuero, Panamá.

	<i>FMT1</i>	<i>FMT2</i>	<i>FMT3</i>	<i>FMM1</i>	<i>FMM2</i>	<i>FMM3</i>
Consumo litros año ⁻¹	322.06	219.6	463.55	1039.5	1134.0	1219.9
Emisiones Kg CO ₂ e	911.4	621.4	1311.9	2941.8	3072.6	3270.3

Las emisiones por utilización de combustible fósil superan a las emisiones de por la utilización de agroquímicos en todas las fincas, donde representan de las emisiones por insumos para las FMT entre el 96 al 100% y para las FMM entre el 43 al 87% siendo mayor el porcentaje para las primeras fincas. En los resultado de GAMMA (2010), las emisiones por utilización de combustible (diesel y gasolina) con el 58% de las emisiones por utilización de insumos externos.

c. Concentrado

De los dos tipos de manejo en fincas analizadas fueron las FMM donde se observó la utilización de concentrado, como complemento de la dieta de los animales principalmente en la época seca. Los productores utilizan una mezcla que se prepara en la finca, la cual tiene una fórmula compuesta de 45% de maíz, 10% soya, 2% urea y otros insumos de menor volumen (sal cruda, afrecho de arroz y mezcla mineral). Para estimar el factor de emisión por la preparación del concentrado según los ingredientes, se utilizó el programa SimaPro 7.2, para los factores de emisión por la fabricación o producción de los ingredientes de 1 kg de Soya, 1 kg de Maíz y 1 kg de Urea (Cuadro 22). Para 1kg de concentrado con la formula antes descrita se calculó un factor de emisión por producción de 0.59 Kg CO₂e.

Cuadro 22. Factor de emisión por producción de ingredientes de concentrados a partir de factores de Sima Pro 7.2

<i>Componente</i>	<i>Kg</i>	<i>kg CO₂e</i>
Maíz	1	0.55
Soya	1	0.22
Urea	1	3.3

Cuadro 23. Consumo y emisión por consumo de concentrado anual del sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá

	<i>FMM1</i>	<i>FMM2</i>	<i>FMM3</i>
Consumo kg año ⁻¹	2,912	1,365	1,188
Emisiones por fabricación Kg CO ₂ e	1720.89	806.66	702.06

Las emisiones por fabricación de insumos para la elaboración del concentrado representan en promedio el 23% de las emisiones totales por insumos externo.

Respecto a las emisiones en general, como antes se mencionó, las emisiones por utilización de insumos en ambos tipos de manejo en finca, no es un factor que influyó significativamente, a diferencia en otros tipos de sistema especializados donde sin embargo las emisiones por insumos juegan un papel importante (Mora 2001, Guerra 2007).

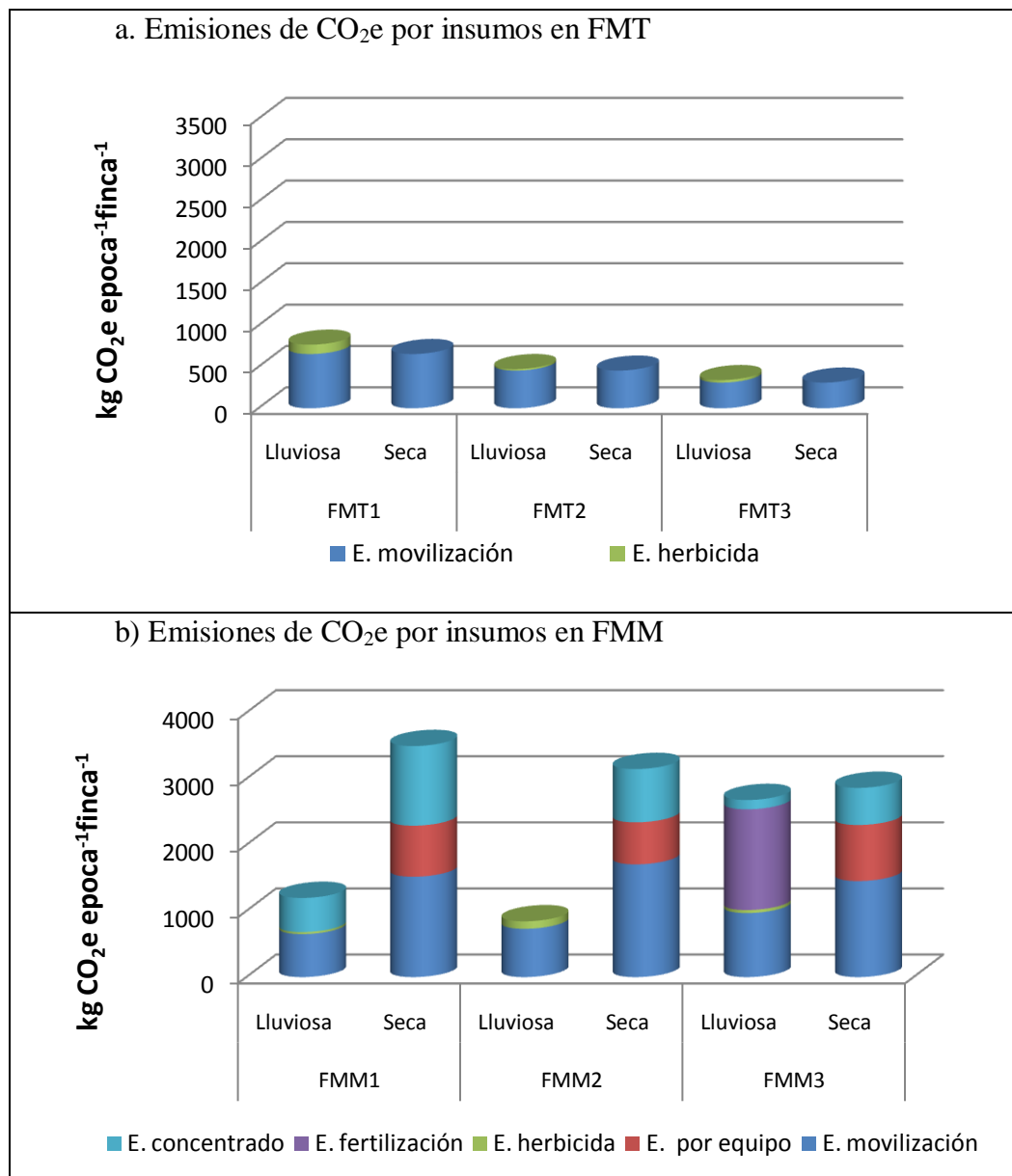


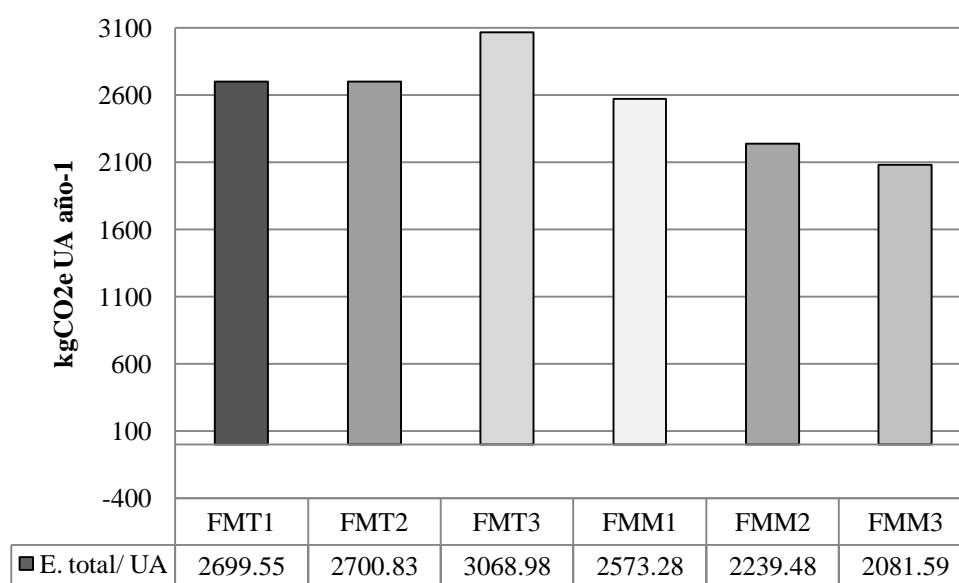
Figura 11. Emisiones totales por insumos externos y transporte según el tipo de manejo en fincas y época del Sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá

En el caso de las FMT se relacionó principalmente al consumo de combustible fósil para procesos fuera de la fincas específicamente en traslado de leche a la planta procesadora. En las FMM, las cuales utilizan más insumo en relación a la FMT, se dan emisiones dentro de la finca por procesos para la preparación de suplementos (picado de forraje), emisiones producto de sistemas mecanizados (bombas de agua, preparación de suelo), estos se le suma las emisiones fuera de las finca por los procesos en la fabricación de insumos (concentrado y fertilizantes) y emisiones por la quema de combustibles para procesos de adquisición de

insumos y transporte. Siendo los procesos de mayor emisión por uso de insumos, por quema de combustible fósil y las emisiones por fabricación de concentrado, siendo para las FMT las emisiones entre épocas iguales, a diferencia de las FMM donde se observa un incremento de las emisiones para la época seca (Figura 11)

Emisiones totales de GEI de las fincas evaluadas del sistema doble propósito

Para estimar las emisiones totales se consideraron las emisiones de origen animal y las emisiones por utilización de insumos externos de cada finca para un periodo productivo de un año (Figura 12).



FMT: fincas de manejo tradicional; FMM fincas de manejo mejorado de los sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá

Figura 12. Emisiones totales $UA^{-1} año^{-1}$ según tipo de manejo de finca.

Como se puede observar según las emisiones por unidad animal (UA), de cada finca, se presentan diferencias entre manejo ya que las fincas de manejo tradicional (FMT) cuyo promedio de emisión por unidad animal es de $2,823.12 \text{ kg tCO}_2\text{e año}^{-1}$ emiten más respecto a las fincas de manejo mejorado (FMM) con $2,298.11 \text{ kg tCO}_2\text{e año}^{-1}$.

Según su origen las emisiones se dividen en emisiones procedentes de procesos de los animales y por la utilización de insumos (Figura 13).

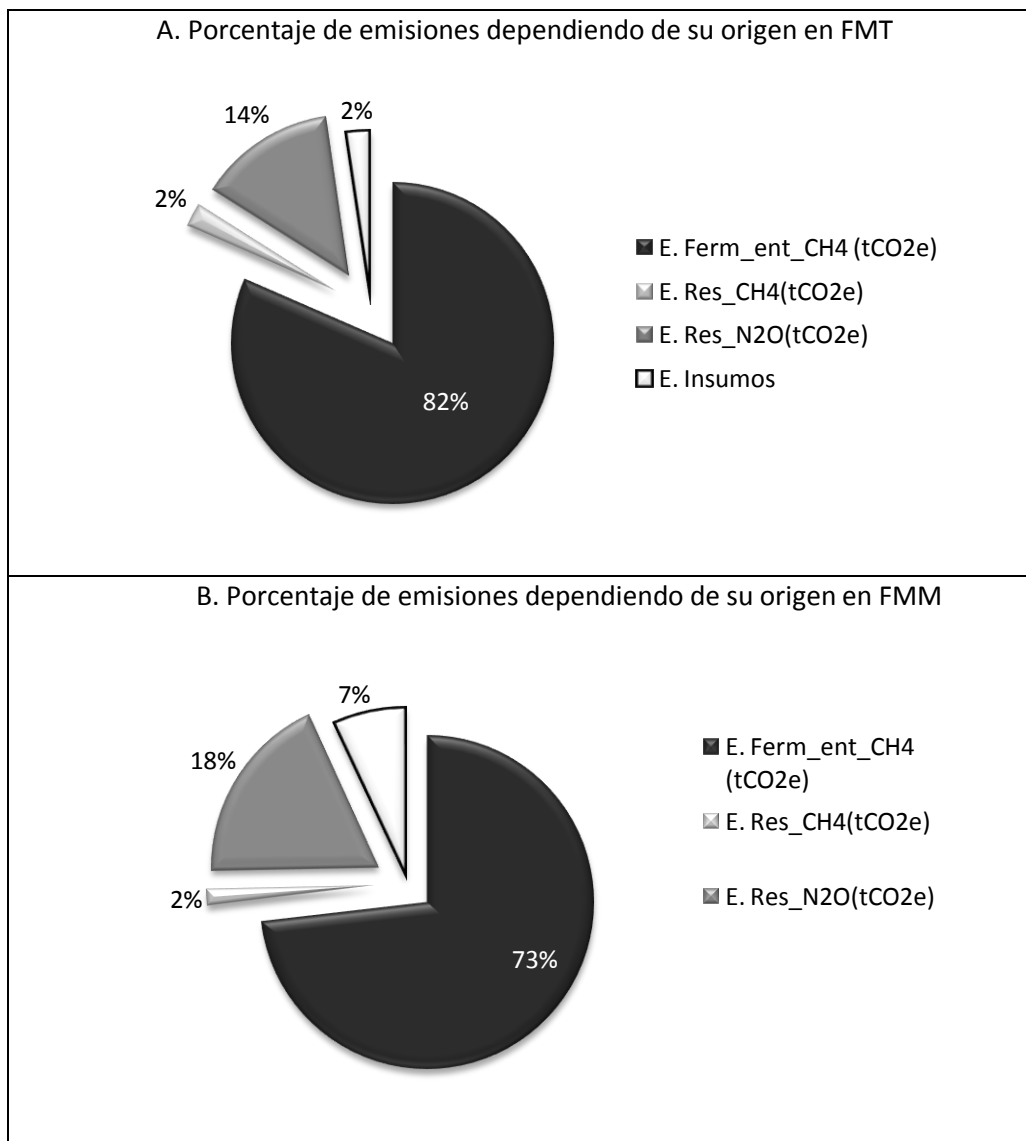


Figura 13. Distribución de las emisiones según su origen y tipo de manejo en finca del SDP de Azuero, Panamá

La intensidad de emisiones de GEI se concentra en los procesos fisiológicos de los animales, siendo para FMT y FMM el 82% y 73%, respectivamente en relación al total de emisiones, y las emisiones por utilización de insumos externos aunque no es significativa en ambos manejos de fincas es mayor para las FMM (Figura 13). Al incluirle a las emisiones por fermentación las emitidas por excretas se obtiene que representan más del 90% de las emisiones totales del sistema, resultados similares reporto Guerra (2008). Casey et ál (2005), y Messa (2009) donde reportaron valores inferiores a los de este trabajo para las emisiones por animal representaron el 60 al 79% de las emisiones totales respectivamente. En relación a las

emisiones por insumos, son menores en este sistema de doble propósito si las comparamos con resultados obtenidos de sistemas de producción especializados donde las emisiones por insumos (concentrados, fertilizantes, electricidad), llegando a representar cerca del 30 % (Guerra 2010), hay que considerar que la distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero varían por múltiples factores como por el tipo de sistema productivo, la raza del animal, manejo del hato, y nivel nutricional entre otros (Carmona et al. 2005).

Esquemas de las emisiones en la cadena de producción según tipo de manejo de finca.

Las emisiones en la cadena productiva tienen factores fuera y dentro de la finca, representados en los diagramas según tipo de manejo. Para una finca de manejo tradicional (FMT) la emisión promedio total fue de 56.88 t CO₂e año⁻¹ (figura 14), donde de las emisiones totales las emisiones fuera de la finca están representadas por la quema de combustible fósil por transporte 1.68% y del análisis del ciclo de vida por fabricación de insumos 0.24%.

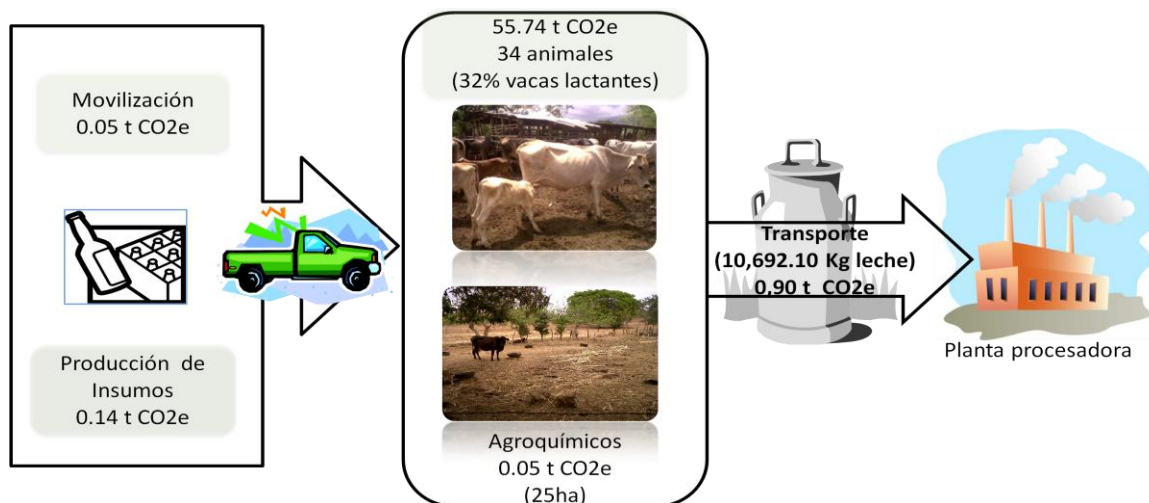


Figura 14. Diagrama de la cadena de producción en la FMT.

Para las fincas de manejo mejorado (FMM), en promedio de emisión por este sistema de manejo se estimó en 68.29 t CO₂e año⁻¹ (figura 15), donde las emisiones fuera de la finca por quema de combustible fósil por transporte de 3% y del análisis del ciclo de vida por fabricación de insumos corresponde el 1% de las emisiones totales.

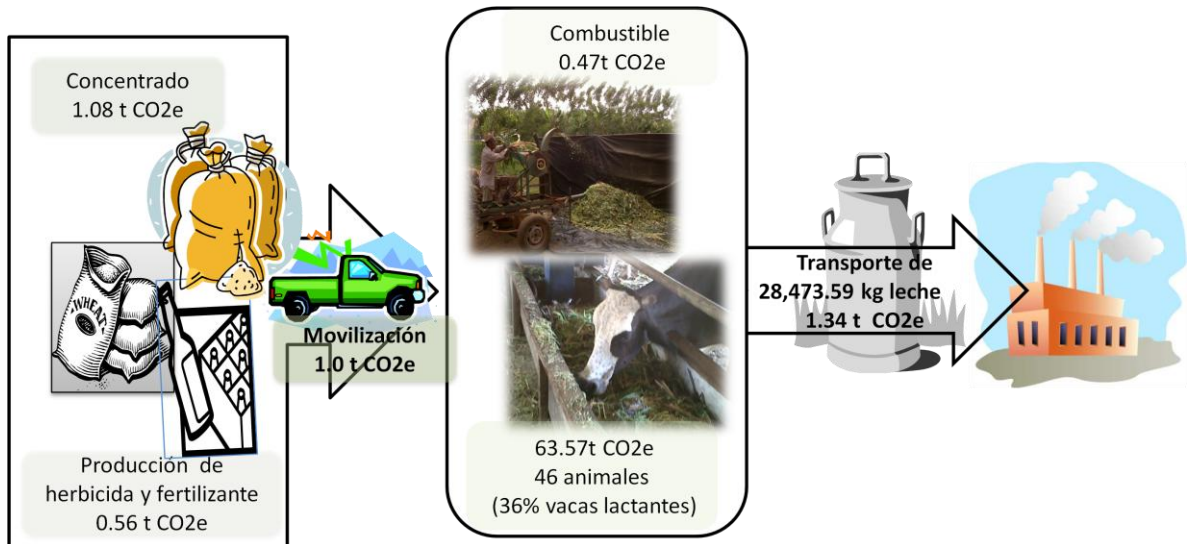


Figura 15. Diagrama de la cadena de producción en la FMM.

3.1.5 Resultados de las emisiones a través del ACV del SDP.

Al obtener la cantidad de emisiones en CO₂e por unidad productiva (Cuadro 24), hay que considerar que están estimadas en el contexto de la productividad del sistema analizado, en este caso los sistemas doble propósito tiene una baja intensidad productiva respecto a ambos bienes (leche y carne), similar relación obtuvo en Costa Rica, Guerra (2010).

Cuadro 24. Estimación de las emisiones por producir 1 kg de leche o 1 kg de carne del sistema doble propósito en la región de Azuero, Panamá.

	<i>FMT</i>			<i>FMM</i>		
	FMT1	FMT2	FMT3	FMM1	FMM2	FMM3
Kg CO₂e kg⁻¹ GPCL	3.00	3.69	2.45	1.08	1.41	1.57
Kg CO₂e kg⁻¹ GPV	12.03	21.81	16.89	10.63	10.83	10.27

GPCL: producción de leche de todas las vacas corregida por la el contenido de grasa y proteína.

GPV: peso ganado vivo animal, Kg de carne ganado en periodo de engorde.

En las emisiones por rubro de 1 kg CO₂e kg⁻¹ leche o carne se observó que las fincas FMT, presentaron una mayor emisión. Los resultados del presente estudio son mayores a los encontrados por el programa GAMMA (2010) en la zona de Guanacaste Costa Rica en

sistemas de producción de doble propósito, donde se encontró una emisión de 1.28 CO₂e por kg de leche. Por otro lado en Estados Unidos se realizó una evaluación de las granjas lecheras de varios tamaños y estrategias de producción donde las emisiones de carbono fueron entre 0.37 a 0.69 kg de CO₂e por kg de leche, estos resultados dependieron de los niveles de producción de leche, tipo de alimentación y del manejo al estiércol (Rostz et ál. 2010).

En relación a las emisiones por producción de carne, las FMT mostraron los mayores valores, incluso en un caso fue hasta dos veces mayor, que las FMM (Cuadro 24). Los resultados del presente estudio, aplicado en animales jóvenes, fueron mayores que lo reportado por GAMMA (2010) en un estudio llevado a cabo en el tropico seco de Costa Rica, en donde se encontró una emisión de 13 kg CO₂e por kg de carne en animales adultos.

4 CONCLUSIONES

1. La estacionalidad es un factor importante en la dinámica de las emisiones, ya que por efecto de la variación de esta, baja la calidad de la dieta en las fincas e incide en los niveles productivos de los animales (disminuyen) e incrementa las emisiones, principalmente en las fincas de manejo tradicional.
2. La principal fuente de emisión en estos sistemas de manejo en Doble Propósito es el componente animal por medio de la fermentación entérica y por manejo de los desechos de estos procesos principalmente los animales adultos que representan en rangos de 93 al 98% de las emisiones totales.
3. Ya que las emisiones por procesos animal representan más del 90% de las emisiones totales, la utilización de insumo no es un factor que incida significativamente en las emisiones totales, ya que estos sistemas utilizan poco insumos externos y principalmente las emisiones por insumos externos se enfocan en la utilización de combustible fósil para el transporte de la leche.

4. A pesar que se comparan datos de diferentes sistemas (especializado), con diferentes condiciones climáticas y de manejo, los datos obtenidos en este trabajo se mantienen dentro del rango de las otras investigaciones.

5 RECOMENDACIONES

1. La manipulación de la dieta es el factor principal para mantener los niveles productivos y evitar el incremento de las emisiones de GEI por lo que es necesario utilizar estrategias de suplementación para la época seca. La utilización de bancos forrajeros es la alternativa más viable como estrategia de mitigación, pero tomando en cuenta las condiciones de la región también se debe utilizar un sistema de conservación de forraje ya que la mayor concentración de forraje se da en la época seca.

2. Es favorable para la eficiencia del sistema la utilización de tecnologías para el aprovechamiento de los residuos (biodigestor o producción de abonos orgánicos) que disminuyan sus aportes en las emisiones y de esta manera darle un valor agregado al sistema.

6 BIBLIOGRAFÍA CITADA

Abreu, J de; Lima, M; Queiroz, M. de; Santos, M; Primavesi, O; Toyoko; R; Berchielli, T. 2004. Inventory improvements for methane emissions from ruminants in Brazil. Report No. 8. Jaguariúna, SP, Br, Brazilian Agricultural Research Corporation-Embrapa. 15p

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente).2005. Producción más limpia para el sector de beneficio de la producción de ganado bovino y porcino. ANAN-PAN-BID. 201p.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente).2008a. Atlas de tierras secas y degradadas de Panamá. Unidad de Cambio Climático y Desertificación. Comité Nacional de Lucha contra la Sequía y la Desertificación (CNULD).

- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente).2008b. Memoria 2008, Lineamiento estratégico 1. 273p
- Casey, J; Holden, N. 2005. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. *Agricultural Systems* N° 86.p.97-114.
- Carmona J,C. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias pecuarias*. Vol. 18:1. p.49-62. *Fuente original*. Kinsman R, Sauer FD, Jackson HA, Wolynetz, MS. Methane and carbon dioxide emissions from cows in full lactation monitored over a six-month period. *J Dairy Sci*, 1995; 78 (12): 2760-2766
- Colombato, D. 2007. Potencial de la Monensina para la reducir las emisiones de metano por parte de la ganadería. Departamento de Producción animal. Facultad de Agronomía. Buenos aires, 7p.
- Eckard, R,J; Grainger, C; De Klein C, A. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production. A review. *ELSERVIER, Livestock Science* 130. p.47- 56. *Fuente original*. Misselbrook, T.H., Powell, J.M., Broderick, G.A., Grabber, J.H., 2005. Dietary manipulation in dairy cattle: laboratory experiments to assess the influence on ammonia emissions. *J. Dairy Sci.* 88, 1765–1777.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación,) 2009c. La Ganadería a examen. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Consultado nov. 2009. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/sofa/sofa-graphics09/es/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación,) 2010. Centro de prensa. Un nuevo informe evalúa las emisiones de gases de efecto

invernadero del sector lácteo. Estudio de la FAO tiene ámbito mundial, de los rebaños de pastoreo nómadas a las plantas de producción intensivas.

Consultado nov. 2010. Disponible:

<http://www.fao.org/news/story/es/item/41348/icode/>

GAMMA (Programa de Ganadería y manejo del medio ambiente). 2010. Programa de fomento de la producción agropecuaria sostenible. Determinación del balance de los GEI en fincas Ganaderas de la región de Chorotega. Como elemento de referencia para mejorar la competitividad. Informe final. SP N° 14-2009.250p.

Guerra L. 2008. Construcción de la huella de carbono a escala de paisaje para zona ganaderas de Esparza y Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para carne y leche en una finca doble propósito, Costa Rica. 51p.

Guerra L. 2010. Análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero a través del ciclo de vida de la producción de queso en la zona de Santa Cruz, Costa Rica. Construcción de la huella de carbono para tres niveles de productores de queso y la implicación de las técnicas silvopastoriles en la intensidad de emisiones. CATIE Programa GAMMA Documento sin publicar 21p.

Fernández, L. 2008. Plan estratégico para optimizar la producción, comercialización y consumo de los rubro leche y derivados para el periodo 2008-2017. Consultoría para el Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá 2008.

Herrera D; Guerra B, Hassán J. 2005. Evaluación de doble ordeño, en el Sistema de Doble Propósito El Ejido, Los Santos. Datos sin publicar IDIAP.

IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático). 1996. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de GEI versión revisada en 1996. Libro de trabajo Vol. 2 Consultado julio 09. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/spanish.html>

- IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático). 2006. Guía de las buenas practicas. Capítulo 4: Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kioto. pdf
- Messa, F. 2009. Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería doble propósito con alternativas silvopastoril en Yaracuy, Venezuela. Tesis M.Sc Turrialba –C.R: CATIE. 225p.
- Montenegro, J; Abarca, S. 2001a. Balance of emissions with greenhouse effect in silvopastoral systems in three life zones of Costa Rica. In Ibrahim, M. compiler. International Symposium on Silvopastoral Systems, Congress on Agroforestry and Livestock Production in Latin America. (2, 2001, San José, CR). Turrialba, CR, CATIE/GTZ/EDI/IFS/DANIDA/IUFRO/SIDCA /FAO. p. 107-111.
- Montenegro, J; Abarca, S. 2001b. Importancia del sector Agropecuario Costarricense en la mitigación del calentamiento global. Alternativas para la reducción de emisiones de metano (CH₄) en ganado bovino. p. 17- 42.
- Mora, V. 2001. Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 92 p.
- Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.2000. Autoridad Nacional de Ambiente (ANAM). p. 37-54.
- SimaPro 7.2. Software de estimación de emisiones.
- SENAPAN (Secretaria Nacional para el Plan Alimentario y nutricional) 2010. Instructivo para extensionistas del MIDA. (Documento del Ministerio de desarrollo Agropecuario de Panamá)

Soto B, E. 2004. La ganadería de Doble propósito en Venezuela. Conferencia XII
Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal 2004. p. 221-230

CAPÍTULO 2. ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN FINCAS GANADERAS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, se evidencian los impactos de origen antropogénico a los ecosistemas por la necesidad de suplir las demandas en productos y servicios de una población creciente, esta situación hace necesario proteger los recursos naturales existentes. La ganadería es una de las actividades productivas, desarrolladas por el ser humano que ha generado gran presión hacia los recursos naturales, ocasionando diferentes impactos ambientales, como deforestación, fragmentación de los bosques, contaminación de cuerpos de agua, desertificación, erosión, y es también relacionada con el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero por su relación directa con el flujo de carbono (C) donde se ha llegado a liberar en América latina por el cambio de uso de suelo $150 \text{ Pg de C ha}^{-1}$, el cual es el servicio ecosistémico más controversial en la actualidad por su efecto en el cambio climático y las consecuencias de este (Steinfeld 1999, Kanninen 2001, FAO 2002, Harvery et ál 2005).

En el caso de Panamá la explotación agropecuaria es el sistema productivo que más ha impactado el capital natural, observándose que en los últimos 50 años la transformación de los bosques en potreros y cultivos han ocupado el 37% de la superficie del territorio nacional, porcentaje mayor a la capacidad agroecológica del suelo (ANAM 2010).

Para minimizar este impacto es necesario la utilización de tecnologías amigables con el ambiente que contribuyan a incrementar la productividad y rentabilidad de las finca ganaderas como es la adopción de sistemas silvopastoriles - SSP (Amézquita et ál 2004, Ibrahim et ál. 2007b). Diferentes estudios han identificado los beneficios de los SSP y la generación de servicios ecosistémicos como: producción de manera, protección del suelo y fuentes de agua, conservación de diversidad y contribuye a la regulación del clima mediante el secuestro de carbono (Andrade e Ibrahim 2003; Harvey et ál 2003, Casasola et al 2009).

Según Snowdon et ál (2001), los SSP acumulan C en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo, hojarasca, raíces y en el propio suelo (COS). La acumulación del carbono en los ecosistemas se basa principalmente en el potencial de la biomasa y el suelo en capturar y retener, influenciado a la vez por componentes del sistema como el clima, tipo de suelo, especies vegetales y manejo del sistema entre otros (Camero et ál. 1999).

El desarrollo en este capítulo tiene como objetivo conocer el potencial del capital natural en fincas del SDP en la península de Azuero, siendo esta la segunda área en importancia productiva del sector agropecuaria en Panamá y que abarca las provincias con mayores índices de deforestación menos del 7% del área en cobertura boscosa, principalmente efecto del manejo inadecuado de los recursos por los sistemas agropecuarios (CATHALAG 2009 y ANAM 2006)

1.1 Objetivos

- Estimar el potencial que brinda el capital natural en relación al servicio ecosistémico de captura de carbono en fincas del SDP.
- Determinar la tasa de flujo de carbono para los usos de suelo presente en las fincas.

1.2 Pregunta de investigación

¿Cuáles es la capacidad del capital natural en remover y almacenar carbono en fincas ganaderas de la región de Azuero?

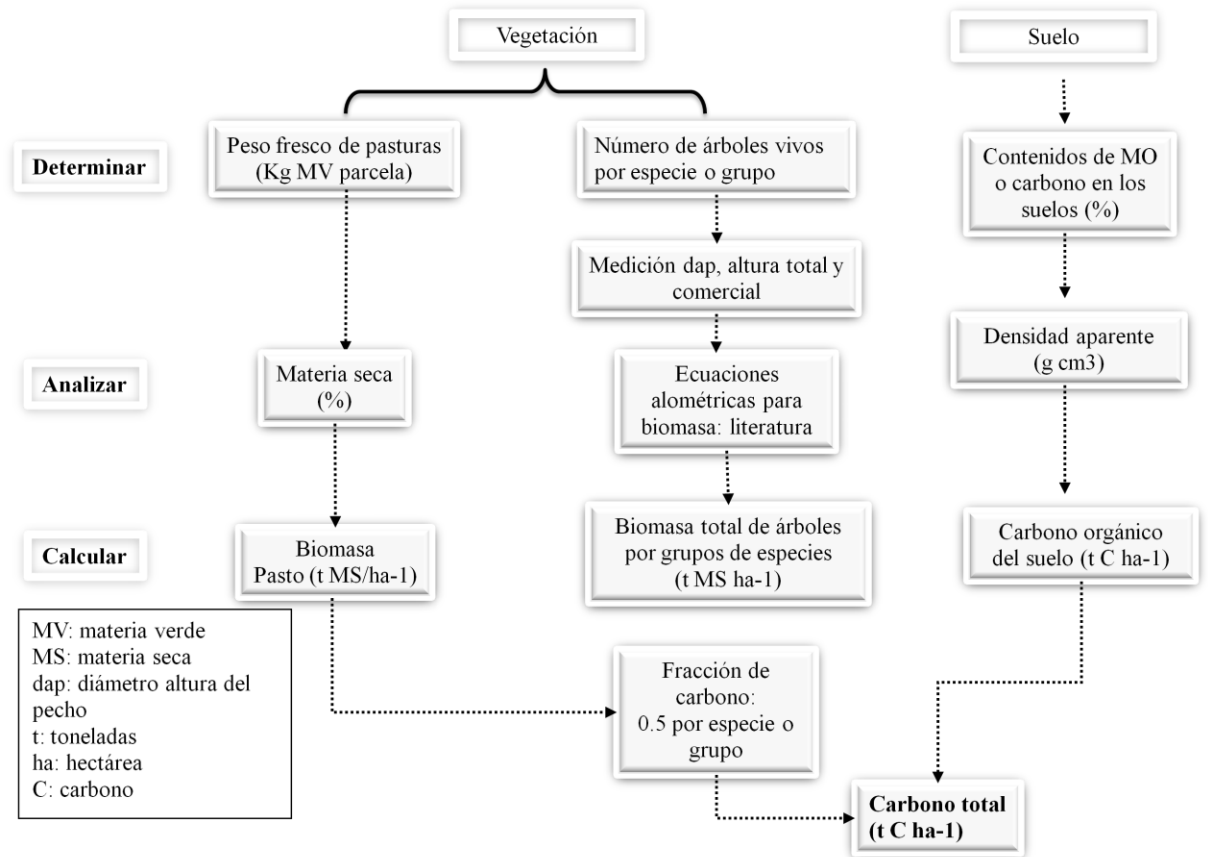
2 MATERIALES Y METODOS

2.1 Localización

Las fincas hubicadas entre las coordenadas $7^{\circ} 59' 11''$ N - $80^{\circ} 27' 323$ W y $8^{\circ} 24' 52''$ N- $80^{\circ} 47' 60''$ W a una altura del nivel del mar desde los 10 m hasta 155 m , ubicadas en la península de Azuero, siendo esta una zona con alto indices de deforestación y considerada dentro de las áreas en proceso de desertivación del pais. La temperatura ha llegado alcanzar los 42°C durante la época seca (diciembre a mayo) y la precipitación es de 1,100 mm anuales. (ANAM 2002)

2.2 Muestra y componentes del sistema a evaluar en la captura de carbono

Se caracterizaron los diferentes usos del suelo presentes en las fincas evaluadas en la península de Azuero, Una vez identificado los usos de la tierra, se seleccionaron los usos de la tierra más dominantes en las fincas utilizadas para la cuantificación de emisiones GEI del Capítulo 1. Se tomó en consideración los depósitos de carbono en la biomasa sobre el suelo (árboles, arbustos > 6 cm diámetro a altura de pecho y pasturas); en el componente suelo se estimó la materia orgánica (MO) a través de unas calicatas a diferentes profundidades en cada uso de suelo, estas profundidades se determinaron tomando en cuenta la observación según el IPCC (1996), que el suelo a 30cm de profundidad está relacionado con la fijación carbono generada por el uso de suelo presente.



Fuente: Modificado de Andrade et ál 2003

Figura 16. Esquema de los sistemas incluidos para la estimación de la remoción y captura de Carbono en los usos de suelos presente en el sistema doble propósito de Azuero, Panamá 2010

2.2.1 Muestreo

Para los tipos de uso de suelo identificados se realizó el muestreo, haciendo adecuaciones a la metodología usada por Ruiz (2002), Amézquita (2002a) y Arias-Giraldo et ál. (2009):

- Se selecciono al azar un potrero por cada tipo de uso de suelo en cada finca.
- Se ubicaron las parcelas de muestreo respecto al centro de cada tipo de uso de suelo, alejada de los bordes y en cuyo centro se instaló la calicata principal.
- En cada parcela se realizó el inventario de las especies (arbóreas o herbáceas), tomando las variables dasométricas de los árboles y arbustos con una pistola de Haga y

cinta métrica, las edades de cada uso de suelo y manejo agronómico de la cobertura vegetal existente.

- El largo total de las cercas y del área ribereña se obtuvo a través de puntos tomados con GPS y la digitalización en el programa de ArcGis.

2.2.2 Carbono en suelo en diferentes usos de suelo

Según Schlesinger y Thorley, citado por Fisher y Trujillo (2000) la concentración de carbono orgánico de los suelos es más o menos tres veces mayor que el retenido en los organismos vivos y cualquier cambio, por pequeño que sea, en las reservas de este pueden tener efectos sustanciales en los niveles de CO₂ que se concentran en la atmósfera.

En la determinación de la dinámica del carbono con datos tomados en campo, se instalaron tres calicatas en cada uso de suelo, una calicata principal de 1m x 1m x 0.40m de profundidad en el centro de la parcela y dos mini calicatas de 0.40m x 0.40 m x 0.40m. La orientación de las mismas fue el sentido de la pendiente y a distancia de 20 m a 40m de la principal dependiendo del tamaño de la parcela.

Las profundidades para el muestreo se determinaron a través de una adecuación de la metodología de Rüginitz et ál (2009) donde se vario los rangos de profundidad en relación a la capa arable de la región la cual está a una profundidad entre 0.15 a 0.20 m (datos de técnicos de MIDA e IDIAP).

La toma de muestra para el laboratorio se realizó en los rangos de profundidad del perfil del suelo de 0-10, 10.1 -20, y de 20.1-40 cm en la época lluviosa. A través de análisis en laboratorio se determinó el porcentaje de materia orgánica (MO) de las muestras de suelo, la cual se utilizó para estimar el contenido de C a través de una ecuación utilizando el factor de Van Bemmelen; el cual se basa en la hipótesis de que la MO contiene el 0.58 % de carbono lo que equivalente a un factor de 1.7 (Mc Vay y Rice 2002 citado por Miranda et ál 2007; INTA 2005, Hernández et ál. 2008)

$$\%COS = \%MO/ 1.724$$

donde:

%COS: contenido de carbono
 %MO: materia orgánica resultado del laboratorio
 1.724: factor Van Bemmelen contenido de C en la materia orgánica (0,58%),

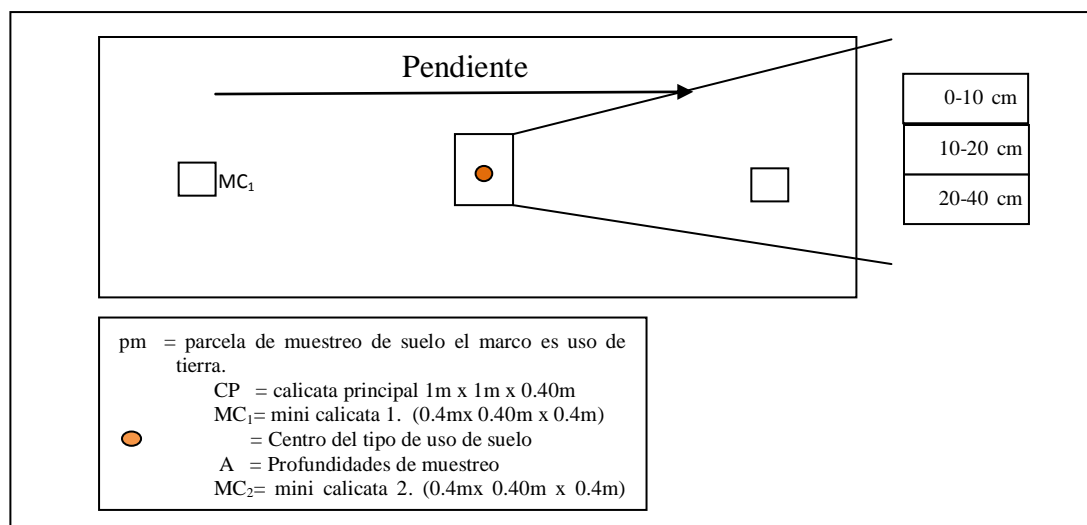


Figura 17. Representación esquemática del diseño del muestreo para inventario del carbono en el suelo



Figura 18. Calicatas en tres tipos de uso de suelos encontrados en las fincas del Sistema doble propósito de la región de Azuero, Panamá

Las muestras para las pruebas de densidad aparente (DA) se tomaron con la técnica del cilindro (Forsythe 1975), para el volumen conocido (2pul x 3pul), cuyo volumen se determinó

a través de la ecuación y de tres de las cuatro caras de la calicata de manera horizontal (Rosales et ál 2006).

$$VC = p*r^2*h.$$

donde:

VC: volumen del cilindro

h: altura

r: radio

Cada muestra por cilindro fue identificada con la finca, cobertura de suelo y profundidad, para luego pesarla humedad en una balanza de gramos, secarla al horno aproximadamente por 24 horas a 105° C hasta que obtuviera un peso constante, esto nos da el peso seco de la muestra.

En la determinación las variables del suelo respecto al contenido de carbono secustrado se utilizó la Metodología de Arevalo (2003), descrita a continuación:

- Cálculo de peso del volumen del suelo

Para el cálculo del peso del volumen del suelo ha^{-1} es necesario obtener la DA en cada uno de los horizontes evaluados:

$$DA(g/cm^3) = PSN/VC$$

donde:

DA (g/cm^3): densidad aparente en cm^3

PSN: peso seco del suelo dentro del cilindro

VC: volumen del cilindro (constante)

- Cálculo del peso del volumen del suelo por horizonte de muestreo

$$PVs (t/ha) = DA*Ps*10000$$

donde:

PVs (t/ha): peso del volumen del suelo

DA: densidad aparente

Ps: profundidad de muestreo; 10000 = constante

- Cálculo del carbono total secustrado en el suelo

$$CS \text{ (t/ha)} = (PVs * \% C) / 100$$

donde:

CS (t/ha): carbono en el suelo t/ha

PVs: peso del volumen del suelo

% C: contenido de C de los análisis de laboratorio

100: factor de conversión

- Cálculo del carbono total del SUS (t/ha)

$$CT(t/ha) = CBV + CS$$

donde:

CT(t/ha): Carbono total almacenado en el sistema

CBV: carbono almacenado en la biomasa

CS: carbono almacenado en el suelo

2.2.3 Análisis estadísticos

Los datos de campo fueron tabulados y codificados en Microsoft Excel y para el análisis estadístico se utilizó el software InfoStat. Se realizó un análisis de varianza (ANAVA) y una prueba de comparación múltiple de LSD Fisher, con el propósito de determinar las diferencias de los efectos de la profundidad y tipo de uso de suelo en relación a las variables de densidad aparente (DA) y carbono orgánico del suelo (COS).

2.2.4 Biomasa y carbono sobre el suelo

Producción de biomasa de pasturas

Se utilizó una modificación de la metodología aplicada por Giraldo et ál. (2006), se realizó el muestreo con método destructivo¹⁰, con un marco 1m². Para la estimación anual de producción de biomasa se consideraron 8 pastoreos al año para los pastos mejorados y 4 pastoreos al año para los pastos naturalizados degradadas. El número de pastoreo se relacionó

¹⁰ Corte de todos los marcos de muestra(1m²) para pesar y secar en horno y determinar la MS

a la época, ya que son bien marcadas, la época lluviosa y la seca, por lo que se consideró importante la estacionalidad en la cobertura de los suelos más en la época seca ya que la disponibilidad de forraje en los pastos naturalizados es casi nula. Se tomaron muestras de material verde de 250 g y se secaron en un horno a 75° C, para determinar el porcentaje de materia seca (MS) del forraje presente en las parcelas de muestreo.

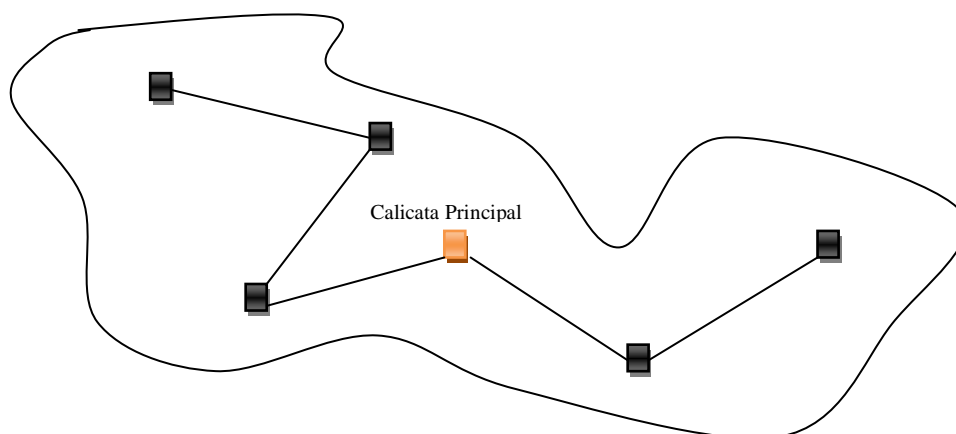


Figura 19. Diagrama de transeptos para la toma de muestras de pastos en potreros

El contenido de C en la pastura se determina de la siguiente manera:

$$\% \text{ MS} = (\text{PV}/\text{PS}) * 100$$

donde:

% MS: porcentaje de Materia seca del forraje

PV= peso verde del forraje

PS= peso seco

Para obtener el equivalente a una hectárea en carbono se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{C ha}^{-1} \text{forraje} = (\text{PMS} * 0.5) / 10000$$

donde:

C ha⁻¹forraje: contenido de carbono en forraje por hectárea

PMS: pasto biomasa MS

0.5: factor de C en biomasa del IPCC 1996

Árboles dispersos y tacotal:

En área de tacotal y pasturas mejoradas de baja densidad arbórea se aplicó la metodología de Rüginitz et ál (2009) y Ruíz (2002), se establecieron parcelas circulares de 400 m² (11.2 m radio) y 1000 m² (17.8 m radio), en el centro de la calicata principal del área de tacotal y pasturas mejoradas respectivamente. Se determinó el número de árboles, la especie, y sus características dasométricas (dap, altura, copa).

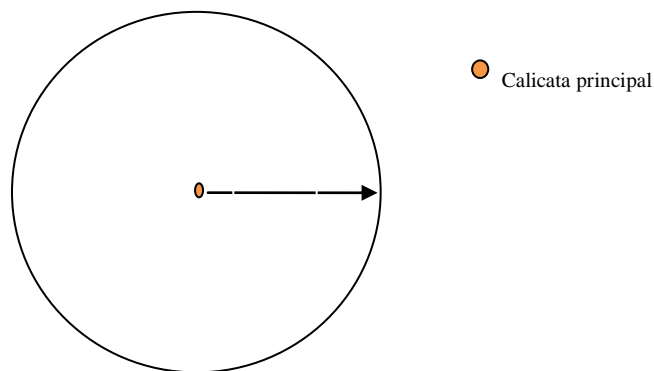


Figura 20. Esquema de parcela circular para tacotal y árboles dispersos

Corredores ribereños

Para el muestreo se realizó una modificación a la metodología de Segura & Kanninen (2002) en el caso de los bosques secundarios y los bosques ribereños, con parcelas anidadas (Figura 21). En la parcela rectangular de 5 x 25m se midió todos los árboles de dap > 10 cm. La vegetación < 10cm se midieron en sub parcelas de 5x10m. Se realizó el muestreo en transeptos de 25 metros de largo para la facilidad de la toma de datos, hasta completar los 250 m², donde se tomaron los datos de dap, altura total, altura comercial, copa y especies.

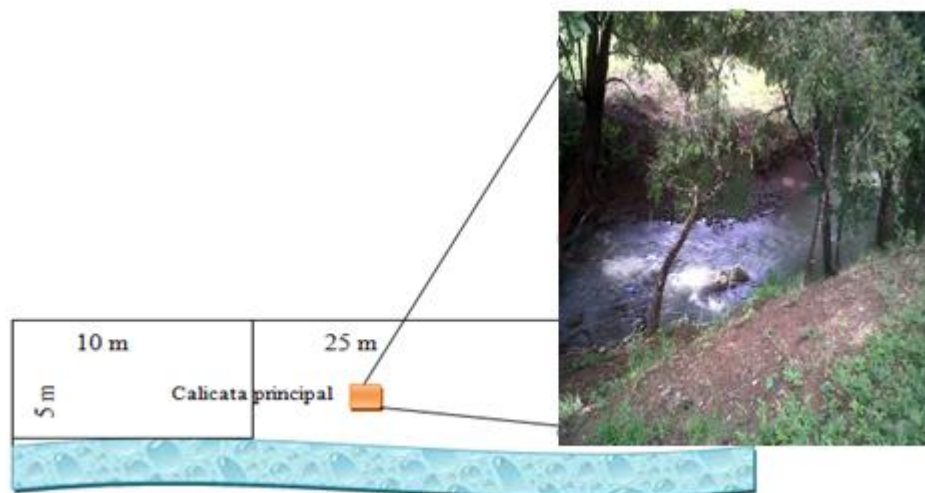


Figura 21. Parcela demostrativa para inventario forestal en corredor ribereño.

Cercas vivas (CV):

Se realizó un recorrido por toda la finca para analizar la heterogeneidad y diseño de las cercas vivas presente en estas. Se seleccionaron tramos de 200 metros de longitud, para realizar el inventario vegetal, dividido en transectos de 25 a 50 m dependiendo del diseño de la cerca y dependiendo de la composición de especies. Se consideraron las plantas con dap > 5 cm, a las que se midió la altura total, altura comercial, copa e identificación de especies y dap.

2.2.5 Ecuaciones alométricas para estimar biomasa arbórea

Para determinar la producción de biomasa arbórea se utilizaron ecuaciones alométricas ya existentes y empleadas en la literatura. Las ecuaciones alométricas para la producción de biomasa en árboles se seleccionaron considerando la precipitación como las desarrolladas por Brown (1989) citado por Andrade et ál (2003), que desarrollo ecuaciones para bosques latifoliados; en este trabajo se utilizó la de bosque tropical húmedo y otra ecuación desarrollada por Ruiz (2002) para árboles dispersos en América Central (Cuadro 25).

Cuadro 25. Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de árboles.

Ecuaciones alométricas	R ²	Fuente
$\text{Log}_{10} B = -2,18062 + 0.08012 * \text{dap} - 0.0006244(\text{dap}^2)$	0,94	Ruiz 2002 (Árboles SSP)
$Y = 34,4703 - (8,0671 * \text{HT} / 205) + 0.6589 * (\text{HT} / 205)^2$	0,67	Brown et ál. 1989 (Precipitación < 1500mm)
$Y = -4.5 + 7.7 * \text{HT}$		Frangi y Lugo (1985)

B= biomasa total (kg árbol⁻¹).Dap= diámetro altura del pecho (cm), HT = altura total del árbol (m)

2.2.6 Carbono en la biomasa

Para estimar el carbono removido por la biomasa del componente leñoso y herbáceo, se utilizó la siguiente ecuación empleada en la literatura:

$$\text{CBV} = \text{BVT} \times \text{fc}$$

donde:

CBV: carbono total almacenado biomasa (t C ha⁻¹)

BVT: biomasa arbórea total

fc: fracción de carbono de la biomasa 0.5(IPCC 1996)

- Carbono de la biomasa

$$\text{tCO}_2\text{e} / \text{ha} / \text{TUS} = (\sum \text{t C total}^{-1} \text{parcela}^{-1} \text{TUS}) / \text{tamaño de la parcela de muestreo}) * 10000$$

2.2.7 Modelación en CO₂Fix para estimar Carbono

A través del programa CO₂Fix se realizó una modelación para estimar el C en los tipos de uso de suelo degradados, cuyos datos se modelaron a una escala de tiempo de 0 a 15 años. Para las entradas del modelo se utilizaron datos tomados en las fincas analizadas e información secundaria de Guanacaste como los parámetros de C en biomasa (suelo y humus, tasa de crecimiento, diámetro y altura de la vegetación) en condiciones similares al área que se modelaba en el estudio.

Es necesario además para modelar el flujo y captura de carbono en el suelo, introducir al software CO₂fix, los datos de precipitación (pp) y de temperatura (°C) para calcular la tasa de evapotranspiración, estos datos fueron proporcionados por la empresa Empresa de Transmisión Eléctrica Panameña (ETESA 2009).

Cuadro 26. Datos climáticos de la región de Azuero para el año 2010. ETESA- Panamá

Meses	Temperatura (°C)	Precipitación promedio (mm día ⁻¹)
Enero	28.9	0.3
Febrero	29.4	0
Marzo	29.9	0.1
Abril	29.2	0.8
Mayo	29.4	3.7
Junio	25.1	4.5
Julio	26.8	3.1
Agosto	27.6	4
Septiembre	26.1	5.4
Octubre	26.4	7.2
Noviembre	26.7	4.3
Diciembre	26.3	1.5

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Determinación de los tipos de uso y cobertura del suelo:




Los tipos de uso de suelo definidos se detallan en el cuadro 25 y cabe señalar la ausencia de áreas boscosas lo que se corroboró con un mapa de cobertura boscosa de la ANAM (Figura 22).



Figura 22. Porcentaje de cobertura boscosa en Panamá para año 2000, ANAM 2010

Las fincas utilizadas en este trabajo se dedican en un 90% a la explotación pecuaria. Los tipos de uso de suelo identificados son: pasturas naturales degradadas (PND), pastos mejorados (PM), pastos mejorados con baja densidad de árboles (PMB), bancos forrajeros (BF), corredor ribereño (CR) y tacotal (AT). La distribución de la vegetación encontrada principalmente está representada por árboles en las cercas vivas (CV), y las que tienen acceso a ríos o quebradas (CR).

Cuadro 27. Tipos de uso de suelo y características biofísicas en el sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá.

<p>Pastos naturalizadas degradados (PND)</p>	<p>Pastura de especies nativas o naturalizadas con baja calidad y baja producción de biomasa, cuya cobertura en $0,25m^2$ es de 80% a 70%, del 20% a 30% suelo descubierto y 20-40% de arvenses. Las especies como <i>B. pertusa</i> e <i>H. rufa</i>, sin árboles y edad de establecidas con más de 25 años. En la época seca es casi nula producción de forraje.</p>	
<p>Pasto Mejorado (PM)</p>	<p>Especies introducidas de alto vigor y productividad, con cobertura mayor de 85%, en monocultivo (<i>Cynodon dactylon</i>, <i>Digitaria suazilandensis</i> y <i>Braquiarias decumbens</i>, <i>B. Toledo</i> y <i>brizantha</i>). Edad de establecidos de 6 – 12 años</p>	
<p>Pasto Mejorado baja densidad de árboles (PMB)</p>	<p>Especies introducidas de alto vigor y productividad, con cobertura aproximada de 70% (<i>Cynodon dactylon</i>, <i>Digitaria suazilandensis</i> y <i>Braquiarias decumbens</i>, <i>Toledo</i> o <i>brizantha</i>). La densidad de los árboles es de < 20 árboles / ha y promedio de dap 20 cm y altura > 5 m, la edad de establecidas las pasturas entre 6 a 12 años. Especies arbóreas comunes: Guácimos, Nances, Caratillo, Herrero, Agallo, Olivo, Aceituno y palmas.</p>	

Corredores
ribereños (CR)

Según Useche (2006), se denomina corredor ribereño a la vegetación arbórea a orillas de un río, del donde el estrato arbóreo único igual o mayor a 15 metros sin presencia de estrato arbustivo, ancho menor 10 metros en ambos lados del cauce. Las fincas estas áreas presentan marcada erosión por la crecida de las aguas, el 90% de la vegetación con dap > 8 cm y alturas > 5 m, manejada la regeneración o escasa. Más de 30 años de edad.



Cercas vivas
(CR)

Plantación en línea de especie leñosa utilizada para delimitar espacios, generar sombra y forraje para los animales. Edades de plantación de 2 año hasta 40 años. Las especies son diversas las más comunes fueron *Cedrela odorata*; *Leucaena*; *Bursera simaruba*, *Spondias purpurea*; *Enterolobium*, *Guazuma ulmifolia*, *Jatropha curca* y *Azadirachta indica* entre otros.



Área de tacotal
(AT)

Regeneración natural con plantas desde 2 m de altura, utilizado por los animales para sombra. Más de 15 años de crecimiento.



Banco forrajero
(BF)

Plantaciones sistemáticas de forrajes de alto valor nutritivo y alta producción de biomasa con el propósito de proporcionar forraje en las épocas de escases de pastos de piso. Edad de plantación de 10-15 años, especie energética Caña de azúcar, cortado una vez al año.



Los criterios utilizados en la determinación de pasturas degradadas fueron los determinados por Camargo (1999). Donde se consideraron tres elementos para evaluarlos directamente en el campo: porcentaje de cobertura de la especie deseada, porcentaje de cobertura del suelo y proceso de erosión. Donde se obtuvo un valor de 27 siendo moderado el grado de degradación.

Manejo de las áreas de pastoreo

El manejo de las pasturas mejoradas y pasturas naturalizadas se basa en el control de maleza manual y con herbicida a la entrada de la época lluviosa. La rotación de los potreros es dependiendo del tamaño de la cuadra de 8-15 días de pastoreo y aproximadamente 21 ó más días de descanso, para la época seca el manejo es irregular ya que depende de la condición del potrero en los pastos mejorados y para los pastos naturalizados los potreros permanecen toda la época seca ocupados, no se cierran para que el animal pueda recorrerlo en su totalidad y aprovechar cualquier rebrote.

3.2 Variables del suelo y carbono almacenado

Para obtener los valores de C en el suelo según las profundidades, a través de muestras de suelo se usó el método del cilindro para obtener la densidad aparente (DA) y la materia orgánica (MO) en cada uso de suelo y según las profundidades establecidas (Anexo 1-3).

3.2.1 Textura del suelo y pH

A través de análisis de laboratorio se determinaron las texturas predominantes, estas fueron franco, arcilloso, franco arcilloso y franco arenoso. Con un pH que varía de poco ácido a ácido, valores de pH entre 5.4 a 6.8.

3.2.2 Densidad aparente (DA)

Respecto a la DA, por medio de un ANAVA estadísticamente se encontró diferencia significativa ($p < 0,0001$) en los tipos de uso de suelo según las profundidades.

Cuadro 28. Densidades aparente según tipo de uso de suelo presente en las fincas del sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá

Uso de suelo	Densidad aparente en g cm ³		
	Profundidad cm		
	0-10	10.1- 20	20.1- 40
AT	1.28 a	1.36 ab	1.44 ab
CR	1.32 a	1.30 a	1.43 a
PMB	1.32 a	1.34 a	1.48 ab
BF	1.35 a	1.44 ab	1.64 bc
PND	1.53 ab	1.59 bc	1.64 bc
PM	1.55 b	1.65 c	1.74 c

Columnas con letras iguales no son diferentes significativa

PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PMB: pasturas mejoradas con baja densidad de árboles; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; BF: bancos forrajero de gramínes; AT: área de tacotal; CV:cerca viva; CR: corredor ribereño.

Ramos (2003), en sistemas ganaderos de Costa Rica con texturas de suelo similares a las de este estudio (franco arenosa a franco arcillosa), estadísticamente no encontró diferencia significativa entre los tipos de uso de suelo, pero los valores mostraron tendencias similares en la DA de este trabajo, donde la DA aumentó con la profundidad, de igual forma Banegas et ál. (2007) en Argentina obtuvo igual tendencia en sistemas de pastoreo y sistemas para corte de forraje en suelo hasta los 40cm, donde la DA aumentó con la profundidad y la mayor densidad la obtuvo en el sistema de pastoreo de 1.40 g cm³ vs sistema de corte con 1.26 g cm³. En este trabajo para los mismos usos de suelo analizados por Banegas se obtuvieron mayores valores donde las parcelas de corte (BF con 1.64 g cm³) obtuvieron menor DA que las parcelas para pastoreo (PM con 1.74 g cm³ y PND 1.64 g cm³).

En la relación al tipo de uso vs DA resultados similares obtuvo Villanueva (2001), donde la DA en PM y SSP fue de 1.23 y 1.08 gcm³ respectivamente, siendo menor los sistemas con árboles (SSP), en cambio Miranda (2007), en sistemas de pastoreo con 11 años de establecidos no encontró diferencia en las DA de un SSP y pasto natural (2.3 a/cm³). Esta tendencia Ramos (2003) la relaciona con la disminución de las raíces a medida que aumenta la profundidad lo que puede incidir al aporte adicional de materia orgánica por la descomposición de las raíces de los pastos y la biomasa de los árboles.

3.2.3 *Materia orgánica (MO)*

La MO de los suelos está muy relacionada con el tipo de cobertura, especies predominantes, tipo de suelo y manejo o uso de suelo, por lo que suelos con mayor cobertura vegetal tienden a tener mayor contenido de MO. Ramos (2003) señala que puede existir una relación inversamente proporcional entre el contenido de MO y la DA, donde al encontrar mayor contenido de MO en la primera capa disminuye la DA, lo cual fue la tendencia en este trabajo (Cuadro 27 y 28).

Cuadro 29. Contenido de MO en el suelo en las tres profundidades según tipos de uso de suelo en fincas del SDP de Azuero, Panamá.

Uso de suelo	Profundidades					
	0-10 cm		10.1-20 cm		20.1-40 cm	
AT	3.23bc	± 0.38	2.05c	± 0.33	1.64bc	± 0.33
CR	2.89bc	± 0.27	2.02c	± 0.24	1.34bc	± 0.24
BF	2.69bc	± 0.15	1.89c	± 0.13	0.93bc	± 0.13
PMB	2.57abc	± 0.17	1.69bc	± 0.15	0.57bc	± 0.15
CV	2.69bc	± 0.15	1.77c	± 0.11	1.15bc	± 0.12
PM	2.31ab	± 0.13	1.32ab	± 0.12	0.95ab	± 0.12
PND	2.17a	± 0.13	1.13a	± 0.12	0.49a	± 0.12

Columnas con letras pasturas mejoradas con baja densidad de árboles; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; BF: bancos forrajero de gramínes; AT: área de tacotal; CV:cerca viva; CR: corredor ribereño.

A través de un análisis estadístico de ANAVA, se encontró diferencia significativa entre los tipos de uso de suelo (TUS) ($p= 0.0132$), principalmente la diferencia se marca en los sistemas de pastoreo sin árboles como PM y PND en relación a los que mantienen árboles dentro de su componente (AT, CR y PMB). Considerando los valores obtenidos, los niveles más altos de MO se encontraron en los tipos de uso de suelo de AT y CR, a diferencia de las PND siendo el tipo de uso de suelo de menor contenido de MO, lo que está relacionado principalmente con el manejo que ha llevado a degradar la pastura y el nivel de erosión de los suelos.

3.2.4 *Carbono orgánico en el suelo (COS)*

Las características del suelo juegan un papel clave en el contenido de C, ya que afecta directamente la densidad aparente del mismo, Da Silva et ál. (2004) y Buurman et ál (2004),

evidenciaron que hay una correlación entre la producción de biomasa y el carbono total en el suelo, demostrando que la acumulación de carbono es altamente dependiente de la producción y el manejo de la biomasa.

A través de una comparación múltiple de LSD Fisher ($\alpha=0.05$), se presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) en el COS entre los tipos de uso de suelo y la profundidad, no marcando interacción entre la profundidad* tipos de uso de suelo ($p = 0.0581$).

Según el contenido de C por profundidad se observa la tendencia del C en el suelo (Cuadro 30), se incrementó a medida que aumenta la profundidad, donde los valores más altos los encontramos en las capas por debajo a los 10.1 cm, después de la capa arable (entre 15 y 20 cm), resultados similares obtuvo Mora (2001) en cuerdas de pastoreo de kikuyo y estrella con árboles y sin árboles y según Ávila et ál (2001b) más de 89% del C esta en el suelo y Ramos (2003), han encontrado que aproximadamente el 60% del carbono orgánico del suelo, se localiza después de los 20 cm de profundidad. Sin embargo, datos diferentes reporta Ruiz (2002); Rojas (2005) y Messa (2009), donde indican que el C disminuía al aumentar la profundidad.

Cuadro 30. Contenido de COS según profundidad y tipos de uso de suelo en fincas del sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá.

<i>Uso de suelo</i>	t C ha⁻¹			
	0-10	10.1 -20	20.1- 40	Total
PND	17.94 a	18.91 a	19.00 a	55.85
PMB	19.32a	26.09bc	20.03 a	65.44
PM	20.8 abc	26.05 b	25.28 a	72.13
BF	19.94 ab	28.99 bc	30.02ab	78.94
CV/km	24.01bc	29.67bc	35.40b	89.09
CR	24.33 bc	29.85 bc	41.68b	95.86
AT	27.44 c	38.32 c	38.71b	104.47

Columnas con letras iguales no hay diferencias significativa según la prueba LSD Fischer ($p < 0.05$); *PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PMB: pasturas mejoradas con baja densidad de árboles; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; BF: bancos forrajero de gramínes; AT: área de tacotal; CR: corredor ribereño*

El mayor contenido de COS total se da en AT (104.47 t C ha⁻¹) y CR (95.86 t C ha⁻¹), considerando que este valor es hasta los 40 cm de profundidad, se considera inferior al

obtenido para tacotal por Ruíz (2002) que reportó de 119.4 t C ha⁻¹ hasta la profundidad de 20cm. En vegetación secundaria joven, Ibrahim et ál (2007) y GAMMA (2010) obtuvieron rangos por debajo del presentado en este trabajo para tacotal cuyos valores son 97.6 y 86.8 t C ha⁻¹ respectivamente. Seguido en valor más alto están el CR lo que podemos relacionar con la mayor concentración de materia orgánica por presencia de árboles y su aporte en hojarasca, ramas y raíces, como afirma Buurman et ál (2004), el contenido de carbono del suelo depende de las entradas de hojarasca y de la velocidad de descomposición de la misma.

En relación a las áreas para producción de forraje, los BF fueron el tipo de uso de suelo con mayor valor de COS con 78.94 t C ha⁻¹, valores superiores presentaron los datos obtenidos por GAMMA (2010), donde los BFG (bancos forrajeros de gramíneas) presentaron más COS con 86.1 t ha⁻¹ que los PD; BFL (bancos forrajeros de leguminosas) y PMA donde la diferencia del COS fue de 30%, 19% y 11% menos que en los BFG a los 30 cm profundidad. A diferencia de los reportados por Montenegro y Abarca (2001) para banco forrajeros de caña a una profundidad de 10 cm con valores de 26,9 t de C ha⁻¹, lo que fueron mayores a los del presente trabajo a 10 cm donde se obtuvo 19.94 t de C ha⁻¹.

Para las áreas destinadas al pastoreo (PM, PMB y PND), en la profundidad 0-10 cm no hubo diferencia significativa, pero para la profundidad de 20.1-40 cm para las PM tienden a tener mayor valor en el COS fijado en comparación con los valores obtenidos para PND y PMB, cuyos valores del COS se mantienen o disminuyen a esa profundidad. Ibrahim et ál (2007), en Nicaragua en condiciones similares al área de este estudio obtuvo valores mayores a los de este trabajo (Cuadro 30), en donde para los tipos de uso de suelo de pasturas degradadas, pasturas mejoradas, y pasturas mejoradas con árboles reportó en contenidos de COS valores de 63.06; 97.3 y 106.3 t Cha⁻¹ respectivamente.

En el total de COS fijado en los tipos de uso de suelo de pastoreo en monocultivo de PM y PND fue de 72.13 y 55.83 t C ha⁻¹ respectivamente, y para el sistema de pastura que incluye árboles dispersos (PMB), se obtuvo un valor intermedio de 65.44 t C ha⁻¹. En trabajos de Ruíz (2002), en Nicaragua y Rojas (2005) en Cañas, Costa Rica, en condiciones climáticas similares a las de este trabajo, obtuvieron valores mayores a los obtenidos para SSP y monocultivo, donde Ruíz (2002), obtuvo hasta los 40 cm de profundidad para pasturas

naturales en monocultivo $118.4 \text{ t C ha}^{-1}$, pasturas mejoradas $117.2 \text{ t C ha}^{-1}$; pasturas naturales con árboles $107.3 \text{ t C ha}^{-1}$; pasturas mejoradas con árboles $118.9 \text{ t C ha}^{-1}$.

Rojas (2005), obtuvo que los suelos con pasturas mejoradas con árboles presentaron 121 t C ha^{-1} y con pastos mejorado en monocultivo $87.73 \text{ t C ha}^{-1}$, al igual que Miranda et al (2007), que obtuvo variaciones mayores entre SSP y en pastos naturales en monocultivo con valores entre 126 y 32 t ha^{-1} , hay que considerar que la variación del contenido de COS entre los SSP puede estar relacionada con la densidad y tipo de árboles. En otro trabajo en tres localidades en Costa Rica, Ávila et al. (2000a) obtuvo valores de COS superior a los rangos obtenidos en este trabajo, en donde para las pasturas en monocultivo entre 84.2 y 66.2 t C ha^{-1} , pero los resultados que obtuvo del SSP (PMB) fueron superiores con 86.57 y 87.3 t C ha^{-1} .

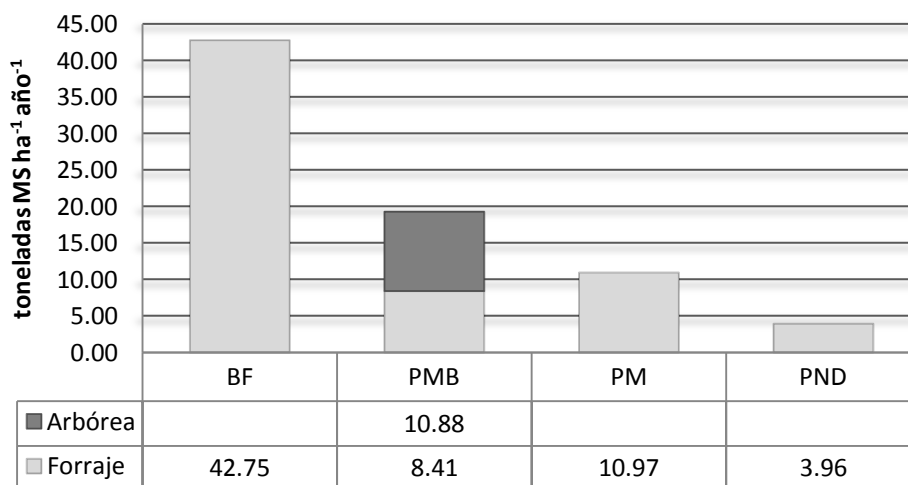
En el presente trabajo el uso de suelo con menor valor en el COS a 40 cm de profundidad fue las PND con $55.85 \text{ t C ha}^{-1}$ resultados similares obtuvo GAMMA (2010) en Chorotega, a una profundidad de 30 cm , donde las PD obtuvieron los valores más bajos con 60.2 t C ha^{-1} . Al respecto se refieren Villanueva e Ibrahim 2002, en su trabajo donde analizaron el COS pasturas en SSP y monocultivo a una profundidad de 40 cm , encontraron en sistemas con pasturas en monocultivo, el COS tiene valores inferiores ($127.8 \text{ t C ha}^{-1}$) que SSP para diferentes edades de la plantación forestales de $2,3$ y 4 años, con valores de 135.5 , 133.8 y $144.5 \text{ t C ha}^{-1}$, incrementando el C con la edad de la plantación y también obtuvieron para el COS almacenado en PN cuyo valor fue de $132.8 \text{ t C ha}^{-1}$,

3.3 Captura de carbono en biomasa área

Fischer y Trujillo 2000, consideran que los sistemas con pastos tiene un ciclo continuo en producción de materia orgánica, para la determinación de la captura de carbono por forraje es necesario determinar la producción de biomasa en los componentes del sistema herbáceo, arbóreo, necromasa y las raíces. Para efecto de este trabajo se consideró la producción de biomasa del forraje verde y los árboles, a estos se les estima la producción de biomasa en $\text{MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Figura 24).

3.3.1 Producción de biomasa arriba del suelo

Entre las características que influyen en el volumen de producción de la biomasa se pudo determinar: especie de pasto, edad y manejo. En relación a las áreas de producción de forraje, los tipos de uso de suelo que presentaron mayor producción de biomasa total fueron los BF y PMB, siendo el tipo de menor producción el de PND por su condición o estado de degradación (Figura 23).



PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PMB: pasturas mejoradas con baja densidad de árboles; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; BF: bancos forrajero de gramíneas

Figura 23. Producción de biomasa aérea en materia seca $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$, según cobertura de suelo en fincas del sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá.

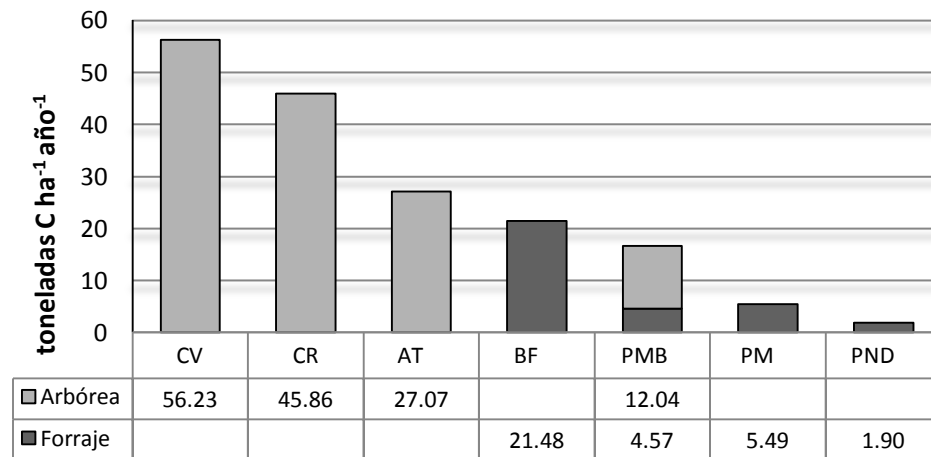
Al comparar la producción de biomasa forrajera entre el PM en monocultivo y el PMB se obtuvo la mayor producción de biomasa forrajera en el sistema de monocultivo, lo que está relacionada a la amplitud de la copa de los árboles (> 5m), por ser árboles grandes y sin manejo, pero al sumar la biomasa de los árboles en el sistema con PMB, podemos observar el efecto de la presencia de estos en el incremento de la biomasa, aportando los árboles más del 60% de la biomasa total sobre el suelo. También es evidente la mayor producción de forraje de una especie mejorada (PM), en comparación con las naturalizadas degradadas (PND); resultados similares obtuvo Rojas (2005) en la comparación de SSP de un pasto mejorado *B.*

brizantha asociada con especies maderables versus un pasto tradicional *H. rufa* asociado con la misma especie arbórea, resultando el sistema con pasto mejorado ser superior.

Para la producción de biomasa en el BF el cual específicamente es de caña la producción de biomasa obtenida es similar a la reportada por Messa (2009) donde obtuvo en este tipo de usos de suelo 49.48 t MS ha⁻¹.

3.3.2 Carbono en el estrato forrajero y arbóreo

Para la determinación del contenido de carbono de la biomasa del forraje y árboles, se utilizó la norma establecida por el IPCC donde en caso de no conocer el contenido de C de las especies se utilizará el factor 0.5. El contenido de C en el sistema dependerá de la densidad, especie, composición diamétrica y la edad de los árboles y forraje (Ruíz 2002).



PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PMB: pasturas mejoradas con baja densidad de árboles; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; BF: bancos forrajero de gramíneas ; AT: área de tacotal; CV: cerca viva * km; CR: corredor ribereño*km

Figura 24. Carbono en biomasa aérea en t ha⁻¹ año⁻¹ según tipo de uso de suelo en fincas del sistema doble propósito en la península de Azuero, Panamá.

El tipo de uso de suelo que mayor valor en remoción de C por biomasa reportó fue la CV. Se puede señalar este uso de suelo como muy importante para este sistema productivo, ya que es el uso del suelo presente en todas las fincas analizadas y donde se concentró la mayor cantidad de arboles; seguido a este uso de suelo en importancia resultaron los CR y AT por su potencial de remoción. Respecto a la importancia de las CV comenta Harvey et ál. (2005)

citado por Ibrahim et ál (2007b) que en América Central del 60 al 95% de las fincas ganaderas tienen cercas vivas.

El tipo de uso de suelo utilizado para la producción de biomasa forrajera que presenta mayor valor en la remoción de C es BF con $21.48 \text{ t C ha}^{-1}$, siendo este valor superior al reportado por Messa (2009) que obtuvo para banco forrajero de caña valores de 14.4 t C ha^{-1} (tallo y cogollo). Seguido a los BF está las PMB y PM con 16.61 y 5.49 t C ha^{-1} respectivamente, dándose en estos sistemas la diferencia por el componente arbóreo que aporta a este uso de suelo el 86% del C acumulado. Ávila (2000) en su trabajo con brizantha y árboles afirmó que se almacena el 32% más de carbono que con los pastos en monocultivos, y Ruiz (2002) obtuvo que el aporte en C de los árboles en pasturas naturales y mejoradas con árboles fue más del 80%, al respecto Botero (sf), menciona que las pasturas mejoradas secuestran más carbono en partes profundas del suelo por su sistema radicular en comparación con pasturas naturales.

Las pasturas naturales (PND) tienen el menor valor en C con 1.9 t ha^{-1} , esto puede estar relacionado al manejo y la especie de pastura ya que esta presenta un moderado nivel de degradación lo que influye en el flujo de C significativamente. Datos similares obtuvieron Ruíz (2002) y Ramos (2003) donde el menor valor estuvo en las pasturas nativas y degradadas en monocultivo con 1.37 t C ha^{-1} y 2.98 t C ha^{-1} respectivamente. En comparación de las pasturas mejoradas y las naturales, Rojas (2005) señala que las pasturas mejoradas almacena más carbono que las naturales.

3.4 Carbono total del sistema

En los tipos de uso de suelo utilizados para la producción de forraje (PND, PM, PMB y BF), podemos observar que ente el 80 – 97% del C está contenido en el suelo y del 3 – 20% sobre el suelo (biomasa), en los usos de suelo donde hay más presencia de árboles (AT, CV y CR) se observa que del 44- 66% del C está contenido en el suelo y entre el 56 y 34% del C en el estrato arbóreo. Ramos (2003) obtuvo porcentajes similares en sistemas de pasturas con árboles (PmA o SSP) y bosques secundarios (Bs), donde en los sistemas para producción de forraje (PmA) aproximadamente el 85% del C está bajo el suelo y en el sistema que incluye

como componente principal los árboles (Bs) cerca del 52 % está bajo el suelo, iguales resultados obtuvo Ruíz (2002) para SSP con más del 85% en el suelo. Dixon et ál (1994) citado por Ramos (2003), afirmó que en un bosque o plantación forestal el 50% del CO total del sistema se encuentra en la parte aérea.

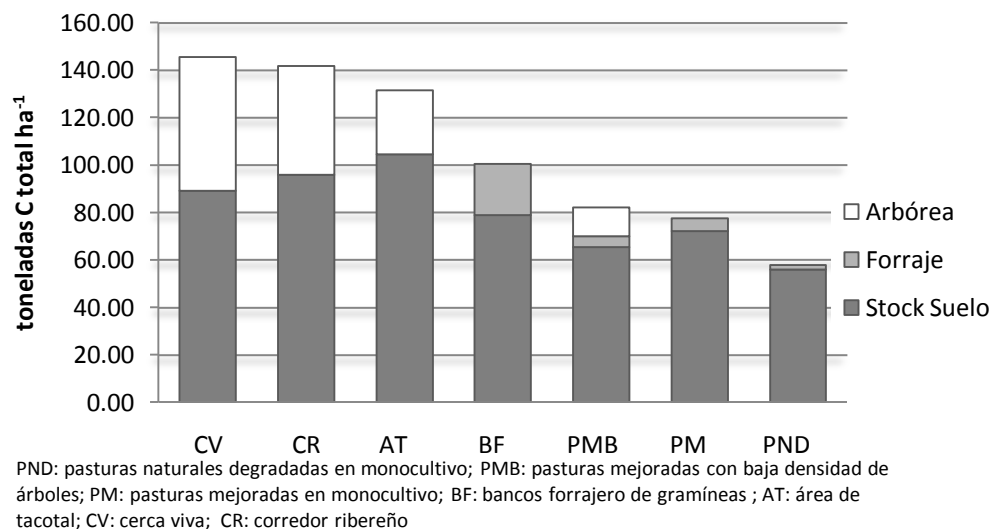


Figura 25. Carbono total almacenado en t ha⁻¹ en el tipo de uso de suelo en el sistema doble propósito de la península de Azuero, Panamá.

De los siete tipos de uso de suelo evaluados, los de mayor contenido de carbono total fueron los CR y CV con 141.72 y 145.31 t km⁻¹ respectivamente. Siendo el primero un uso de suelo (CR) es más vulnerable a cambios que los otros usos de suelos, ya que la mayoría de los árboles son viejos con edades de más de 40 años, y a esto se le suma la marcada degradación de los suelos por la erosión debido a las crecidas en el nivel del agua para la época lluviosa.

Para los tipos de uso de suelo para pastoreo las PM y PMB obtuvieron mayor valor en cuanto al C total en relación a las PND con valores de 77.62; 82.05 y 57.75 t ha⁻¹ respectivamente. GAMMA (2010) en Chorotega, obtuvo igual tendencia a este trabajo, en cuanto al tipo de usos de suelo de menor aporte en la concentración de carbono donde las pasturas degradadas con 60,2 t ha⁻¹, siendo el uso de suelo con menor aporte en carbono y también se observó la importancia del aporte en el carbono almacenado por los árboles en las pasturas mejoradas con árboles (107,1t ha⁻¹). Casasola (2009) obtuvo en pasturas degradadas

de Esparza, Costa Rica que el carbono total en este uso de suelo fue de 26.4 t C ha^{-1} , siendo un valor inferior a los resultados de este trabajo, no obstante, a diferencia de los valores que obtuvo en pasturas mejoradas en monocultivo y pasturas mejoradas con baja densidad de árboles, fueron superiores con 139.2 y $119.2 \text{ t C ha}^{-1}$ respectivamente.

Por otro lado en Nicaragua por Ibrahim et ál (2007a), obtuvo comportamiento similar en la concentración de carbono según tipo de suelo de pasturas naturales sin árboles, pasturas mejoradas sin árboles, pasturas mejoradas con alta densidad de árboles PMA (< 30 árboles), vegetación secundaria joven y banco forrajeros, se obtuvo 72.50 ; 97.30 ; 102.92 ; 115.52 y $130.6 \text{ t C total ha}^{-1}$ respectivamente. Ávila (2001), reportó valores de pasturas en SSP y pasturas en monocultivos en rango de 94.8 a $95.5 \text{ t de C ha}^{-1}$ y 68.2 a $84.3 \text{ t de C ha}^{-1}$ respectivamente. Kanninen (2001), menciona que el carbono en la biomasa de SSP oscila entre 10 y 70 t C ha^{-1} , pero si se incluye el carbono del suelo se puede duplicar la cifra.

3.5 Modelación de los datos

Para la modelación se generaron los siguientes supuestos en condiciones de clima, vegetación y el suelo:

- Las condiciones climáticas se consideraron constantes.
- La mortalidad natural de la biomasa se considero constante.
- El crecimiento se tomó como una función de las edades en cada uso de la tierra.
- El crecimiento de la biomasa en follaje, ramas y raíces se consideró como una función de la biomasa del fuste.
- La tasa de descomposición de la materia soluble en el suelo se consideró constante en el suelo de cada uso de tierra.
- La temperatura sensitiva de descomposición de la MO es constante en el suelo de cada uso de la tierra.
- Las PND tiene más de 20 años de establecidas.

A través de la modelación del flujo de carbono para el uso de suelo PND, se obtuvo en las condiciones de manejo y clima presente en la región del estudio, índices negativos en el

flujo del carbono tanto para la biomasa y suelo, cuyos valores fueron de -0.12 y -0.65 $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$, en la figura 27 podemos observar el comportamiento decreciente, teniendo en cuenta que estos pastos tienen más de 25 años de haber sido introducidos en la región y las condiciones de manejo no son las adecuadas. En modelaciones en CO₂Fix, realizadas por GAMMA (2010) con datos de la región de Choroteга, Costa Rica obtuvieron que una pastura degradada almacenaba en la biomasa cerca de 0.14 $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$ y se estimó que al cabo de 25 años esta pastura podría estar liberando entre 6 a 8 $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$ por manejos inadecuados.

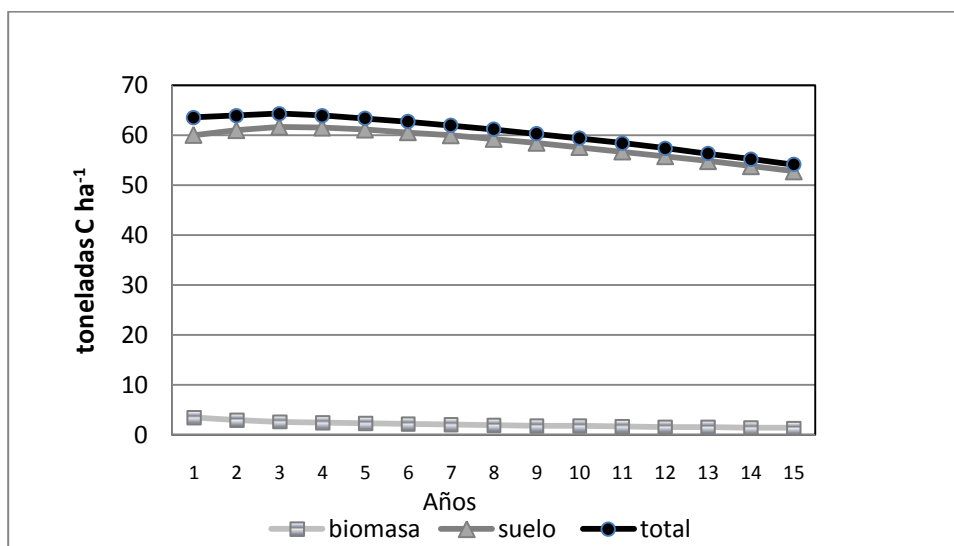


Figura 26. Modelación potencial del flujo de carbono en pasturas degradadas del sistema doble propósito en la península de Azuero, Panamá.

En modelaciones de 15 años para la biomasa en PM sin árboles, se evidencio que durante el periodo de 0 a 4 años tiene un incremento en el carbono fijado en la biomasa de 1.62 $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$, disminuyendo la captura a partir del año 5 (Figura 26). Estos resultados de la modelación se asemejan a los obtenidos para biomasa forrajera en campo donde una PDN obtuvo 1.90 $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$.

3.6 Tasa de Flujo de carbono

Para el desarrollo de una tabla de flujo de carbono en los tipos de uso de suelo identificados, inicialmente en relación al carbono del suelo, se tomó la premisa de que cada uno de los tipos de uso de suelo actuales antes fueron pasturas degradadas. El cálculo de

carbono almacenado en el suelo por los tipos de uso de suelo se estimó a partir de la diferencia de stock de carbono de las PND y el stock de carbono obtenido en campo para cada tipo de uso de suelo y se dividió entre los años de establecidas, a lo que se le sumó el carbono de los otros componentes:

$$\text{COS_PND} - \text{COS_PM} / \text{años uso} + \text{C biomasa}$$

Cuadro 31. Flujo de Carbono total del sistema por año, en los tipos de uso de suelo presentes en las fincas del sistema doble propósito de Azuero, Panamá.

Uso de suelo	Stock de C suelo	C biomasa (árbol y forraje)	Tasa de Flujo C	Tasa de Flujo de C (CO ₂ e)
			t C ha ⁻¹ año ⁻¹	
PND*	-0.65	-0.12*	-0.77*	-2.82*
PM	1.36	0.48	1.83	6.71
PMB	1.07	1.06	2.12	7.78
BF	1.54	1.43	2.97	10.87
CV **	2.22	2.25	4.46	16.34
AT	2.21	1.80	4.01	14.69
CR**	1.33	1.15	2.48	9.08

*Modelación con CO₂Fix. ** km⁻¹ año⁻¹

PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PMB: pasturas mejoradas con baja densidad de árboles; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; BF: bancos forrajero de gramíneas; AT: área de tacotal; CV: cerca viva; CR: corredor ribereño.

La tasa de fijación de carbono según el uso de suelo es mayor en los sistemas de CV, AT, BF y CR (Cuadro 31), relacionado a la mayor productividad de biomasa. Podemos observar que al modelar el carbono con CO₂Fix a 15 años las PND da un flujo en carbono negativo para biomasa y suelo de -0.65 y -0.12 t C ha⁻¹año⁻¹.

Amézquita et ál (2008) en diferentes zonas de vida y tipos de suelo de Colombia y Costa Rica obtuvo tasas de fijación para pastos mejorados en monocultivos que variaron entre -3.3 y 11.2 t C ha⁻¹ año⁻¹, y para bancos forrajeros entre 0.4 y 1.6 t C ha⁻¹ año⁻¹. GAMMA (2010), Chorotega en Costa Rica, a través de la modelación de CO₂Fix a 25 años, obtuvo para la tasa de fijación (t C ha⁻¹ año⁻¹), datos de diferentes usos de suelos como en pasturas mejoradas sin árboles (PMSA) de 0,7 t C ha⁻¹ año⁻¹, para las pasturas mejoradas con baja

densidad de árboles (PMBA) de $0.91 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, las pasturas mejorada con alta densidad de árboles (PMADA) de $7.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, para las pasturas degradadas $-0.29 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y para bancos forrajeros de gramíneas $1.6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Ávila (2001) reportó tasas de fijación para SSP con rangos entre 1.8 a $2.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Messa (2009) obtuvo una tasa de carbono para los usos de banco forrajero de pasturas con arboles dispersos mayor que la del presente trabajo (2.79 vs $2.12 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), pero hay que tomar en cuenta que la densidad de árboles de Messa es superior (120 vs 30 árboles).

4 CONCLUSIONES

1. El mayor contenido de carbono se obtuvo a más de 20 cm de profundidad.
2. La mayor concentración de carbono se dio en el suelo donde se concentró más del 80% para los tipos de uso de suelo de producción forrajera (PND, PM; PMB y BF).
3. La deficiencia del manejo en la finca está reflejado principalmente por la baja disponibilidad de biomasa en los pastos naturales, debido a la degradación que estos presentan en consecuencia del sobre pastoreo; a la vez provocando un deterioro de la cobertura del suelo, influyendo en el servicio ecosistémico de captura de carbono.
4. El carbono total sobre el suelo varió entre los tipos de uso de suelo, lo que señala la importancia de la cobertura del mismo. En este sentido, los sistemas que mayor contenido de carbono presentaron fueron los usos de suelo que incluyeron la mayor concentración de árboles dentro de su componente (AT, CR y CV).
5. De los sistemas de producción de forraje los BF y PMB son los sistemas que presentaron mayor acumulación de carbono en la biomasa.

6. Las CV juegan un papel muy importante en el SDP, ya que obtuvieron la mayor tasa en flujo de C, lo que representa un aporte significativo en el potencial de captura de C, y a la vez prestan servicios a los animales en cuanto a confort y alimentación.

5 RECOMENDACIONES

1. Es necesario mejorar las áreas de PND por medio de la implementación de PM con inclusión de árboles en las fincas como alternativas que favorecen al incremento en el potencial del capital natural en remoción de carbono.
2. Fomentar el uso de CV de estratos múltiples, ya que presentó la mayor tasa de flujo de carbono, y debido a que es el sistema silvopastoril que culturalmente presenta mejor adopción por los productores ya que estas estuvieron presente en todas las fincas analizadas. Varios autores como Villanueva et ál. (2003), Ruíz et ál. (2003) e Ibrahim et ál (2007b), le señala uno de los SSP principales de Centroamérica ya que se encuentran en el 80% de las fincas.
3. Plantear estrategias a nivel del estado, como los incentivos por servicios ambientales para mantener e incrementar el stock y el potencial de remoción de C de los suelos, mejorando así el capital natural de los sistema ganaderos.

6 BIBLIOGRAFIA CITADA

Amézquita, M. 2002. Project objectives, expected products and research methodology. In International Coordination Meeting of the Project (3th, 2002, Turrialba) 2002. Project “Research network for the evaluation of carbon sequestration capacity of pasture, agropastoral and silvopastoral systems in the American tropical forest ecosystem”. Carbon sequestration and farm income: concepts and methodology. Comps. MC. Amézquita; F. Ruíz; B. van Putten. CIPAV/U.Amazonía/CIAT/CATIE/Wageningen University. p. 25-48. (Internal Document No. 5).

- Amézquita, MC, Ibrahim, M; Bourman, P. 2004. Carbon sequestration in pasture, Agro-pastoral and silvopastoral systems in the American tropical forest ecosystem. In Proc. 2nd Intl. Congress in Agroforestry Systems, Mérida, Mexico, February 2004. p. 61-72.
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2010. Iniciativa Latinoamericana y caribeña para el desarrollo Sostenible: Indicadores de Seguimiento Panamá 2010. ANAM,CG R (Contraloría General de la republica), INEC(Instituto Nacional de Estadísticas y Censo) y PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 94p.
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2002 a. Convención de las Naciones Unidas Contra la desertificación (UNCCD). Informe Nacional Para la implementación de la UNCCD. Panamá, abril 2002. 44p.
- Andrade, H; Ibrahim, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? Agroforestería en las Américas 10(39-40):109-116. *Fuente original.*
- (1)Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer FAO Forestry paper 134, Roma, Italia. (2) Snowdon, P; Raison, J; Keith, H; Montagu, K; Bi, K; Ritson, P; Grierson, P; Adams, M; Burrows,W; Eamus, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. Australia, Australian Greenhouse Office. 114 p. (National carbon accounting system technical report No. 31). Draft.
- Arias-Giraldo; Camargo J,C; Dossman M,A; Echeverry M,A; Rodríguez, J. A; Molina C.H; Molina E. J; Melo I.D. 2009. Estimación de biomasa y desarrollo de modelos alométricos para *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles de alta densidad en el valle del Cauca , Colombia. Rv. Recursos Naturales y Ambiente N° 58: 32-39p.
- Ávila V, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 116p
- Ávila V, G; Jiménez, F; Beer J; Gómez M; Ibrahim M. 2001. Almacenamiento, fijación de Carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. Agroforestería en las Américas. Vol. 8 N° 30: 32-35p

- Banegas, N.R; Albanesi, A.S; Pedraza, R; Nasca, J.A; Toranzos, M.R. 2007. Determinación de fracciones de carbono edáfico en un sistema pastoril bovino de la Llanura Deprimida Salina de Tucumán, Argentina. Sitio Argentino de Producción Animal. APPA-ALPA-Cusco, Perú. 6p Consultado sep. 2010. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/66-Banegas_carbono.pdf
- Buurman, P; Ibrahim, M; Amézquita, MC. 2004. Mitigation of greenhouse gas emissions by silvopastoral systems: optimism and facts. In 2nd. Intl. Congress in Agroforestry Systems, Mérida, MX, Febrero 2004. Camero *et al.* 1999
- Camargo, JC. 1999. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) en Sistemas Silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 127 p
- Camero, A; Camargo, JC; Ibrahim, M; Schlönvoigt, A. 1999. Agroforestería y Sistemas de producción Animal en América Central. In Seminario Internacional Intensificación de la Ganadería Centroamericana: Beneficios Económicos y Ambientales. Turrialba, CR, FAO-CATIE. p 177-198.
- 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 ganadera. Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas. Capítulo 9. 169p
- CIAT(Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2005. Tropical Forages Project Annual Reports. Cali, Colombia 1999-2005
- ETESA (Empresa de transmisión eléctrica).2010. Amorales@ETESA.com.pa. Base de datos de precipitación y temperatura de la provincia de Los Santos y Herrera 2010. Gerencia de Hidrometeorología. Consultado el 22 nov. 2010

- FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Basado en el trabajo de Michael Robert. Institut national de recherche agronomique Paris, Francia 62p.
- Fisher M,J; Trujillo W. 2000. Fijación de carbón por pastos Tropicales en las Sabanas de Suelos Ácidos Neo tropicales. Intensificación de la ganadería en Centroamérica: Beneficios económicos y ambientales. 115-135p. *Fuente original*. Schlesinger W.H. 1995. An overview of the carbón cycle. En: Soil and global change. Advances in Soil Science series. Lewis Pubs. Estados Unidos.
- GAMMA (Programa de Ganadería y manejo del medio ambiente). 2010. Programa de fomento de la producción agropecuaria sostenible. Determinación del balance de los GEI en fincas Ganaderas de la región de Chorotega. Como elemento de referencia para mejorar la competitividad. Informe final. SP N° 14-2009 250p.
- Harvey, C.; Villanueva, C.; Villacis, J.; Chacón, M.; Muñoz, M.; López, M.; Ibrahim, M.; Gómez, R.; Taylor, R.; Martínez, J. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. Contribution of live farm productivity and ecological integrity of agricultural landscapes in Central America. **Agroforestería en las Américas (CATIE)**. (2003). v. 10(39-40) p. 30-39.
- Hernández, S; Franco, C; Herrera, C. 2008. Carbono orgánico y materia orgánica en sedimentos superficiales de la bahía de Concepción. Revista Ciencia Ahora N° 22. Año 11, sep 2008. Universidad de concepción Chile. 7p Consultado Enero 2010. Disponible en: <http://www.ciencia-ahora.cl/toc.htm>
- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007a. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. **Agroforestería en las Américas** 45. p. 27-36. *Fuente original*. Harvey, C. A., Alpizar, F., Chacón, M., and Madrigal, R. 2005. Assessing Linkages between Agriculture and

Biodiversity in Central America: Historical Overview and Future Perspectives. Mesoamerican and Caribbean Region, Conservation Science Program. The Nature Conservancy (TNC), San José, Costa Rica. 140 pp

Ibrahim, M; Villanuevas, C.P; Casasola, F. 2007b. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rentabilidad ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. XX reunión ALPA, XXX APPA-Cusco-Perú. Archivo Latinoamericano de Producción Animal. Vol. 15: 1. p. 73-87.

INTA (Instituto nacional de tecnología agropecuaria) 2005. Procedimiento de técnicas para análisis químicos de suelos, Procedimiento analíticos para suelos normales y Salinos, Técnicas utilizadas en suelo y agua. 3 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and work book of the IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. Ciudad de México, MX. INTA 2005

Kanninen, M. 2001. Sistemas silvopastoriles y almacenamiento de carbono: Potencial para América Latina. En conferencia electrónica en potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. LEAD-CATIE.

Messa, F. 2009. Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería doble propósito con alternativas silvopastoril en Yaracuy, Venezuela. Tesis M.Sc Turrialba –C.R: CATIE. 225p.

Miranda, T; Macgado, R; Machado, H; Duquesne, P. 2007. Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración. Estudio de Caso. Pastos y forrajes. Vol. 30 N° 4, 2007. P. 483-491. *Fuente original*: McVay, K.A. & Rice, C.W. 2002. Soil organic carbon and the global carbon cycle. Kansas State University.

Mora, V. 2001. Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 92 p.

- Moreno, F; Lara, W. 2003. Variación del carbono orgánico del suelo en bosques primarios intervenidos y secundarios. In Orrego, SA; Del Valle JI; Moreno, FH. eds. Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia, contribuciones para la mitigación del cambio climático. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ciencias Forestales / Centro Andino para la Economía del Medio Ambiente (CAEMA). p. 87-120
- Ramos, R. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas – Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 77 p.
- Ríos, N; Cardenas A; Andrade H; Ibrahim , M; Jiménez, F; Sancho F; Ramírez, E;Reyes, B; Woo, A. 2007. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. Agroforestería de las Américas N°45: .p.66-71
- Rojas, J. 2005. Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 71 p.
- Rosales F,E; Pocasangre L, E; Trejos J; E, Serrano; Peña W. 2006. Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelos bananeros. MUSALAC- FONTAGRO- BIOVERSITY.
- Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 106 p.
- Ruiz, F; Gómez, R; Harvey, C. 2005. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de Matiguás, Nicaragua. TROPITECNICA-Nitlapan. 40 p.
- Rügnitz M,T; Chacón M, T; Porro R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. 1^{ed}. Lima Perú ICRAF- IA. 79p

- Segura, M; Kanninen, M. 2002. Inventarios para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. In L. Orozco; C. Brumér eds. *Inventarios Forestales para Bosques Latifoliados en América Central*. Turrialba, CR, CATIE. P. 202-216.
- Szott, L., Ibrahim, M., and Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover: cattle pasture land degradation and alternative land use in Central América. *Serie Técnica. Informe Técnico/CATIE*; no. 313. CATIE, Costa Rica. 71 p.
- Steinfeld, H. 1999. Producción animal y el medio ambiente en Centroamérica *In Intensificación de la ganadería en Centroamérica: Beneficios económicos y ambientales*. Costa Rica. p. 17-32
- Villanueva C,N. 2001. Ganadería y beneficio de los sistemas silvopastoriles en la cuenca alta del Río Virilla, San José, Costa Rica Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 123p
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, C; Esquivel, H. 2003. Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):9-16.

CAPÍTULO 3. BALANCES DE GEI EN FINCAS GANADERAS DOBLE PROPÓSITO Y ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN EN LA PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ

1 INTRODUCCION

La ganadería doble propósito es una actividad de importante impacto económico, social, cultural y ambiental. Centrando la importancia del sistema en la producción simultanea de leche y carne. Enfocado en la producción de leche en algunos países como en Brasil, Colombia, Venezuela y Panamá, estos sistemas productivos aportan el 35%, 51%, 90% y 44% de leche de la producción nacional (Soto 2005). Las características de flexibilidad en el manejo y de liquidez monetaria diaria, que presentan los sistemas doble propósitos, les ha permitido sobrevivir aun bajo situaciones climáticas y económicas difíciles.

El manejo de los sistemas doble propósito se caracteriza principalmente en la alimentación basada en el pastoreo extensivo, animales adaptados al ambiente, poca demanda de insumos producidos fuera de la finca. En la actualidad las características de esto sistemas no les favorecen en cuanto a su capacidad de sostenibilidad debido a deficiencias en el manejo, los que presentan bajos índices productivos, relacionados principalmente a la mala calidad de la dieta por la presencia de áreas con pasturas degradadas por manejos inadecuados (especies no adaptadas), sobre pastoreo y condiciones climáticas adversas como sequias (Marmol 2006).

Bajo estas condiciones se ha señalado la importancia de la ganadería en las emisiones de los gases de efecto invernadero, ya que se le atribuye el 18% de las emisiones antropogénicas de estos. Está relacionada a las emisiones de tres de los más importantes gases; con el Dióxido de carbono (CO₂) por la disminución de la materia orgánica del suelo debido a la deforestación y degradación; el metano (CH₄) por dietas desbalanceadas principalmente a base de pasturas degradadas; y el oxido nitroso (N₂O) por uso de fertilizantes nitrogenados y manejo de desechos animales (Steinfeld 2006).

De esta manera la expansión e intensificación de la ganadería en general ha influenciado en cambios al medio ambiente, relacionado en dos vías a la producción de GEI por influir en las emisiones producidas por los animales y el uso de agroquímicos en relación a la disminución de la cobertura vegetal. Sin embargo, se puede contar con tecnologías de producción para minimizar los efectos de la ganadería, como los sistemas silvopastoriles los que albergan un gran potencial en brindar servicios ecosistémicos de remoción de dióxido de carbono (CO₂e) e incrementan la productividad animal (Rowlinson 2008).

El presente capítulo muestra las relaciones de dos tipos de manejo en sistemas ganaderos extensivos doble propósito, en función a su balance en términos de huella de carbono y las fronteras de producción que el capital natural impone a nivel de restricción ecosistémica. Esta huella de carbono nos permite cuantificar las emisiones en CO₂e del sistema productivo en este caso la ganadería y el potencial del capital natural con que cuenta el sistema productivo de removerlo (Wackernagel & Rees 2001).

1.1 Objetivos

- Estimar el potencial que brinda el capital natural con el servicio ecosistémicos de captura de carbono y su relación con las emisiones de GEI de cada finca analizada.
- Valoración económica de estrategias de mitigación de las emisiones de GEI para los sistemas de producción observados y según la época del año.

1.2 Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son los límites del capital natural para compensar las emisiones de GEI a distintos niveles de la cadena productiva?
- ¿Cuáles son las ventajas y limitaciones de las fincas en cuanto a su capacidad de mitigación?

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 Ubicación de fincas

Las fincas evaluadas fueron las 6 fincas utilizadas para la cuantificación de las emisiones del capítulo 1. Estas fincas están ubicadas en la península de Azuero en Panamá, fincas del Sistema Doble Propósito, con manejo extensivo y ordeño con ternero al pie. Se ubican a una altura que va desde 5- 100 metros sobre el nivel, clima de sabanas tropical, suelos alfisoles e inceptisoles, temperatura promedio de 28°C y precipitación promedio de 1100mm, con dos épocas bien marcadas durante el año: la época seca (noviembre a mediados de mayo) y la época lluviosa (mediados de mayo a noviembre) (ANAM 2008)

2.2 Variables a evaluar para el balance de GEI

Como pudimos observar en las fincas analizadas el balance de las fincas se realizó tomando en cuenta la diferencia entre las remociones ocurridas por los sumideros presentes en las fincas y las emisiones generadas por las fuentes analizadas en el periodo de un año debido a la intervención antropogénica en los componentes bióticos y abióticos a escala de finca; representada por el subsistema bovinos de doble propósito del MF-ATS.

1. La cuantificación de la emisión de gases de efecto invernadero resultados del capítulo 1 donde se contemplaron:

Cuantificación de las emisiones por proceso animal:

- ✓ Emisiones procedentes de la fermentación entérica (Metano CH₄)
- ✓ Emisión procedente del manejo de estiércol (Metano CH₄ y Oxido Nitroso N₂O)

Cuantificación de las emisiones por nivel 1 (factores genéricos del IPCC):

- ✓ Aplicación de fertilizantes sintéticos
- ✓ Quema de combustible por adquisición de insumos y transporte.

Determinación de factores de emisiones por Fabricación de insumos externos:

- ✓ Programa SimaPro7.2

2. Para el análisis del potencial del capital natural, se utilizó la información recopilada en campo, ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa de arboles (Ruíz 2002, IPCC 2006) y modelación con CO₂Fix para determinar la tasa de flujo de CO₂e en las pasturas degradadas, obtenidas en el capítulo 2, según los usos de suelo identificados.

Para el balance de GEI se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Re carbono}_{(j)} = A_{(j)} * F_{(j)}$$

donde:

Re carbono_(j): Remoción total de carbono por uso de suelo

A_(j): superficie total por uso de suelo

F_(j): uso de suelo perteneciente a la finca

(j): uso de suelo

Para realizar el balance se igualaron las unidades, el valor del potencial en remoción en C se transformó a CO₂e, incluyendo los usos de suelo de PDB, PM, PMB, CV, AT y CR. (Ver tasa de flujo de carbono en el Capítulo 2).

$$\text{Re CO}_2\text{e}_{(j)} : (A_{(j)} * C_{(j)}) * 44/12$$

donde:

Re CO₂e_(j): remoción total de CO₂e por uso de suelo

A_(j): superficie total por uso de suelo

C_(j): cambio en la existencia de carbono en el suelo por unidad de tiempo (año)

(j): uso de suelo de la finca

44/12: factor de conversión a CO₂e

El balance de GEI se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Balance GEI} = \sum \text{Re CO}_2\text{e}_{(j)} - \sum \text{GEI}_{(i)}$$

donde:

$\sum \text{Re CO}_2\text{e}_{(j)}$: remoción total de CO₂e por uso de suelo.

$\sum \text{GEI}_{(i)}$: emisiones totales de CO₂e del sistema

(j): uso de suelo de la finca

(i): actividad o proceso que genera emisiones del GEI

2.2.1 Modelación de estrategias de mitigación

El término mitigación incluye dos vías en la relación a los GEI, siendo una el efecto de la estrategia en la disminución de las emisiones por el sistema productivo y la otra en el aporte al capital natural para el incremento en el servicio ecosistémico de captura de carbono. La valoración tienen como objetivo estimar el costo efectivo de reducción de GEI mediante gastos corrientes y de inversión en la implementación de sistemas silvopastoriles.

Valoración en estrategias de mitigación

En esencia la valoración económica valora *preferencias* por cambios en las condiciones del ambiente y las *preferencias* con respecto a los cambios en los niveles de riesgo a los que se enfrentan. Por lo tanto, la valoración alude al valor económico total de un recurso natural, en el cual se incluye el *uso* y *no uso* del recurso (Figura 27).

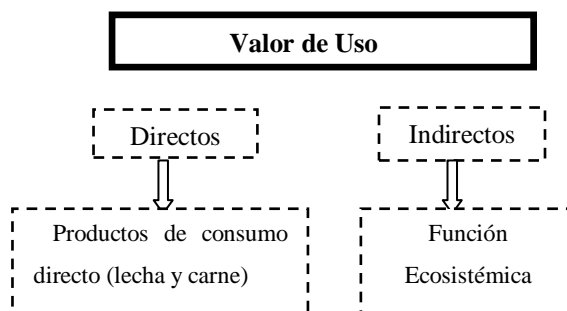


Figura 27. Valor económico de un recurso natural en el contexto de la ganadería.

La figura 27 establece el dilema sobre a cuál de los dos componentes (directos o indirectos) darle un mayor valor, lo que responde al concepto de preferencias usado anteriormente, en este sentido tanto los productores como los tomadores de decisión deben ordenar las alternativas disponibles conforme a maximizar tanto los ingresos percibidos como la oferta de servicios ecosistémicos.

Para la modelación de la estrategia de mitigación y su valoración de las estrategias de mitigación se utilizó como línea base las características del balance de las fincas con deuda de CO₂e, a las que se le modelaron mejoras que cumplieran con el criterio de mitigación, la reducir emisiones estimadas en t CO₂e, reducidas por CH₄ y N₂O e el incrementar el potencial de remoción del sistema:

1. Emisiones por animal a través de la metodología del IPCC (2006) obtenidas en el capítulo #1 como línea base de emisiones, y estimando nuevos valores de emisión, utilizando la variación del valor nutritivo por el aporte de la inclusión de las mejoras en las pasturas, reflejado de la calidad de la dieta

$$Ee = Elb - Emm$$

donde:

Ee: Emisiones evitadas

Elb: Emisiones de línea base

Emm: Emisiones con modelación de mejoras

2. Estimación en el incremento del potencial de remoción de carbono por las mejoras al capital natural:

$$\Delta \text{remoción} = Rlb - Rmm$$

donde:

Δ remoción: incremento en remoción

Rlb: potencial de remoción en línea base

Rmm: potencial de remoción con modelación de mejoras

Las emisiones mitigadas se calculan así:

$$Em = Ee + \Delta \text{remoción}$$

3. Para la valoración de la estrategia de mitigación, se calcula el costo de establecimiento o implementación, mantenimiento y uso de la estrategia a aplicar, el cual se divide entre los años de utilidad o la vida útil o productiva de la misma, y el cual se divide entre las emisiones mitigadas.

$$\text{Valor de mitigación} = \text{costo de la estrategia (\$/año)} / Em$$

2.3 Supuestos para el balance

Teniendo en cuenta la selección del uso de suelo para realizar el balance de GEI, se responde al problema de la temporalidad, ya que puede variar de manera negativa al estar sujeta a variación por efecto de la alteración del manejo del sistemas productivos.

Contemplando el criterio de temporalidad se generan los siguientes supuestos:

- La composición del hato no varia a lo largo del año.
- La demanda de insumos no presenta variación significativa.
- Los usos que de suelos tales como las pasturas mejoradas sin árboles (PM) y con baja densidad de árboles (PMB), se asume que tienen un manejo de las pasturas adecuado y que la presencia de los árboles se mantendra por un periodo mayor a 25 años.
- Los bancos forrajeros son considerados usos de suelos que ayudan a mejorar el balance de GEI por su capacidad de remoción por constante crecimiento y por la mejora de la dieta en los animales. Pero este usos de suelo no se contempla en el balance ya que este esta muy ligado a la condición de temporalidad del carbon almacenado por el manejo.
- Los usos de suelo de Corredores ribereños (CR), Tacotal (AT) y Cercas vivas (CV) se asume que el componente arboreo permanecera dentro del sistema por un largo periodo.
- La tasa de flujo utilizada para el balance es la desarrollada en el capítulo 2, donde para las PND en la modelación con CO₂Fix se obtuvo una tasa de flujo de -2.82 t CO₂e año⁻¹ ha⁻¹, la que está en función de un historial de degradación debido al manejo inadecuado (sobre pastoreo) en más de 20 años, y se utilizó para el balance (Cuadro 32).

Cuadro 32. Tasa de flujo de CO₂e en los tipos de uso de suelo evaluado de las fincas del sistema doble propósito en Azuero, Panamá.

Uso de suelo	Tasa de Flujo CO ₂ e t ha ⁻¹ año ⁻¹
PND*	-2.82*
PM	6.71
BF	2.59
PMB	7.78
CV**	16.34
AT	16.69
CR**	9.08

* Obtenidos del CO₂Fix ** km

PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PMB: pasturas mejoradas con baja densidad de árboles; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; AT: área de tacotal; CV: cerca viva; CR: corredor ribereño .

3 RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Tipología de fincas

Las seis fincas seleccionadas se enmarcaron dentro del SDP. Se seleccionaron tres fincas manejo tradicional del proyecto de innovación tecnológica de CATIE- Nestlé (línea base) y tres fincas de manejo mejorado del Proyecto de fincas pilotos del MIDA con las siguientes características según manejo:

- 1 Manejo tradicional: sistema de manejo extensivo, predominio de pasturas naturales (degradadas), meno de 30% pasto mejorado, no utilizan sistema de manejo rotacional, sin suplementación, sin selección animla con encaste racial predominante de raza Cebú, sin utilización de insumos externos para la producción de leche.
- 2 Menjo mejorado: sistema de manejo extensivo, con manejo rotacional en la epoca de mayor disponibilidad de forraje (lluviosapredominan las pasturas mejoradas, menos del 20% de pasturas naturales, manejo de la suplementación según epoca del año (lluviosa o seca), selecciona animal con cruces con encaste racial predominante de ganado lechero y baja utilización de insumos externos

3.2 Balance de GEI en fincas de SDP de Azuero

Los resultados del balance se muestran por fincas, expresando las emisiones por ha en referencia a la carga animal y la remoción por potencial por hectárea.

a. Finca con manejo tradicional (FMT1):

La superficie productiva de esta finca es de 53 ha con manejo del pastoreo extensivo, un hato compuesto por 56 animales y una carga animal de 0,73 UA ha⁻¹.

Cuadro 33. Composición del hato en la finca de manejo tradicional (FMT1)

Categorías	Nº animal
Vacas lactantes	18
Vacas secas	13
Sementales	1
Novillas +2 años	6
Crías lactantes	18

Los usos de suelos identificados en la finca para el balance de gases presentes en el cuadro 34, donde se observó que los usos de suelo de pastos mejorados (PM y PMB) y cercas vivas (CV), favorecen al potencial de remoción de esta finca.

Cuadro 34. Usos de suelos para compensación de GEI para la finca de manejo tradicional (FMT1)

Uso de suelo	ha	Remoción t CO ₂ e
PND	40.00	-110.88
PM	9.00	59.37
CV/ km	4.00	64.29
CR/km	4.00	35.71
PMB	3.00	22.94
Total		71.44

PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PMB: pasturas mejoradas con baja densidad de árboles; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; AT: área de tacotal; CV:cerca viva; CR: corredor ribereño

Las emisiones por unidad animal total (UA) de la finca es de 2.7 t CO₂e UA⁻¹, siendo las emisiones por carga animal de 1.62 tCO₂e año⁻¹ ha⁻¹ y su capacidad de remoción es de 0.53 t CO₂e año⁻¹ ha⁻¹ (Figura 29).

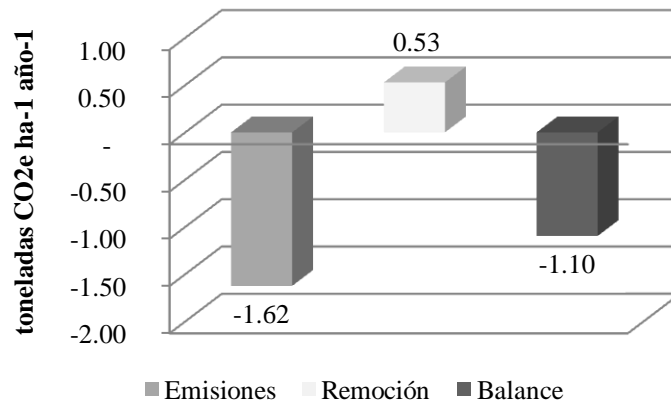


Figura 28. Balance de GEI de la finca de manejo tradicional (FIM1) del sistema doble propósito en Azuero, Panamá

Siendo esta finca de mayor extensión en comparación con las otras analizadas del mismo sistema de manejo, obtuvo un balance negativo con un déficit de $-1.10 \text{ CO}_2\text{e año}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ incidiendo sobre el balance la presencia de más del 65% en uso de suelo con pastura degradada.

b. Finca con manejo tradicional (FMT2):

Hato compuesto por 29 animales (Cuadro 35) en pastoreo extensivo. La superficie productiva de esta finca es de 19.25 ha con una carga animal de 1.03 UA ha^{-1} , las emisiones por unidad animal $2.70 \text{ t CO}_2\text{e año}^{-1}$ y las emisiones según carga animal $2.79 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Cuadro 35. Composición del hato en la finca de manejo tradicional (FMT2)

Categorías	Nº animal
Vacas lactantes	10
Vacas secas	4
Sementales	1
Novillas +2 años	2
Novillas de 1 año	2
Crías lactantes	10

Los usos de suelo identificados en la finca para el balance de gases descritos en el cuadro 36 (pasturas naturales degradadas, pasturas mejoradas y cercas vivas), con un potencial de remoción de 0.82 tCO₂e ha⁻¹ año⁻¹ (Figura 29)

Cuadro 36. Usos de suelos para compensación de GEI para la finca de manejo tradicional FMT2

Uso de suelo	ha	Remoción t CO ₂ e
PND	13.00	-36.04
PM	6.00	39.58
CV /km	2.50	40.18
Total	21.50	43.73

PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; CV: cerca viva; CR: corredor ribereño

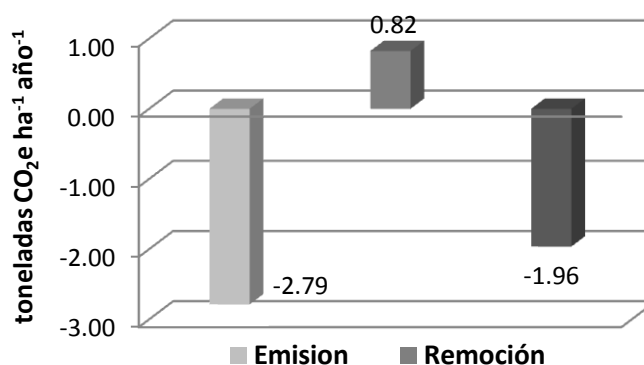


Figura 29. Balance de GEI de la finca de manejo tradicional (FIM2) del sistema doble propósito en Azuero, Panamá

El balance de esta finca fue negativo de -1.96 t CO₂e ha⁻¹ año⁻¹, principalmente incidió la presencia del área en pastura natural degradada (PND) la cual por referencia de la modelación en CO₂Fix está liberando carbono y no presta el servicio ecosistémico de captura de carbono.

c. Finca con manejo tradicional (FMT3):

Hato compuesto por 16 animales (Cuadro 37) en pastoreo extensivo. La superficie productiva de esta finca es de 4.75 ha cuya carga animal es de 2.13 UA ha⁻¹, con emisiones

por unidad animal son de 3.06 t CO₂e año⁻¹ y emisiones según la carga animal es de 6.52 CO₂e ha⁻¹año⁻¹.

Cuadro 37. Composición del hato en la finca de manejo tradicional (FMT3)

Categorías	Nº animal
Vacas lactantes	7
Vacas secas	1
Sementales	1
Crías lactantes	7

Los usos de suelos identificados en la finca para el balance de gases se describen en el cuadro 38, su capacidad de remoción es de 1.25 t CO₂e ha⁻¹año⁻¹, donde la mayor capacidad de remoción se concentra principalmente en los usos de suelo de AT (área de tacotal) y CV (cercas vivas), con aproximadamente el 90% de la remoción.

Cuadro 38. Usos de suelos para compensación de GEI para la finca de manejo tradicional FMT3

Uso de suelo	Ha	Remoción t CO ₂ e
PND	3.25	-9.01
PM	1.00	6.60
CV/ km	1.50	16.05
AT	0.50	7.23
Total		20.89

PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PM: pasturas mejoradas en monocultivo ; AT: área de tacotal; CV:cerca viva; CR: corredor ribereño

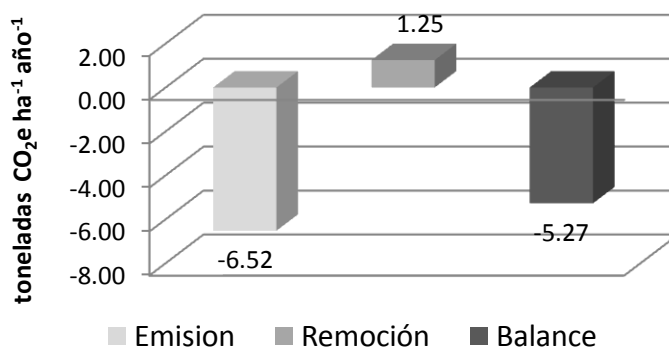


Figura 30. Balance de GEI por hectárea en fincas de manejo tradicional (FMT3) del sistema doble propósito en Azuero, Panamá

El balance de esta finca fue negativo de $-5.27\text{ t CO}_2\text{e año}^{-1}\text{ ha}^{-1}$, principalmente en este balance incidió la presencia de pasturas degradadas, y esta finca maneja una carga animal alta para las condiciones de las pasturas (Figura 30).

d. Finca código FMM1:

Hato compuesto por 43 animales (Cuadro 39) en pastoreo extensivo, con manejo suplementario en la época seca de forraje picado y silo. La superficie productiva de esta finca es de 16.75 ha con una carga animal de 1.64 UA ha^{-1} . Las emisiones por unidad animal es $2.57\text{ t CO}_2\text{e año}^{-1}$, las emisiones según su carga animal esta en $5.01\text{ t CO}_2\text{e ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$,

Cuadro 39. Composición del hato en la finca de manejo tradicional (FMM1)

Categorías	Nº animales
Vacas lactantes	18
Vacas secas	2
Sementales	1
Novillas 1 año	4
Crías lactantes	18

Los usos de suelo identificados en la finca para el balance de gases son: pasturas naturales degradadas, pasturas mejoradas y cercas vivas, con una capacidad de remoción es de $4.21\text{ t CO}_2\text{e ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$, más del 90% del capital de remoción de esta finca se concentra en las PM (cuadro 40).

Cuadro 40. Usos de suelos para compensación de GEI para la finca de manejo mejorado FMM1

Uso de suelo	Ha	Remoción t CO ₂ e
PND	4.00	-11.09
PM	12.00	79.16
CV/ km	3.00	48.22
Total		116.29

PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; CV: cerca viva; CR: corredor ribereño

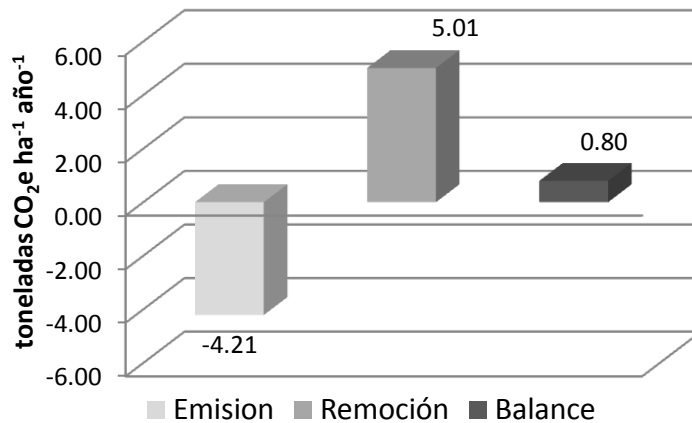


Figura 31. Balance por hectárea de GEI de las fincas de manejo mejorado (FMM1) del sistema doble propósito en Azuero, Panamá

El balance de esta finca fue positivo con un superávit de 0,80 tCO₂e ha⁻¹ año⁻¹, el principal aporte lo presentaron los pastos mejorados, pero también hay que tomar en consideración que las cercas vivas representan un aporte significativo en la remoción.

e. Finca código FMM2:

Hato compuesto por 46 animales (Cuadro 41) en pastoreo extensivo y con manejo suplementario para la época seca con heno, alimento y pasto picado. El área total de la finca es de 18 ha con una superficie productiva para el sistema de 15.25 ha, con una carga animal de 1.86 UA ha⁻¹. Las emisiones por unidad animal es de 2.24 t CO₂e año⁻¹, las emisiones por carga animal son de 4.18 tCO₂e ha⁻¹ año⁻¹.

Cuadro 41. Composición del hato en la finca de manejo tradicional (FMM2)

Categorías	Nº animales
Vacas lactantes	18
Vacas secas	9
Sementales	1
Novillas +2 años	
Novillas 1 año	5
Crías lactantes	16

Los usos de suelos identificados en la finca para el balance de gases son: pasturas naturales degradadas, pasturas mejoradas y cercas vivas (Cuadro 42). Su capacidad de remoción es de 5.63 t CO₂e año⁻¹.

Cuadro 42. Usos de suelos para compensación de GEI para la FMM2

Uso de suelo	Ha	Remoción t CO ₂ e
PND	3.25	-9.01
PM	12.00	79.16
CV/ km	4.00	48.22
Total		118.37

PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; CV: cerca viva; CR: corredor ribereño

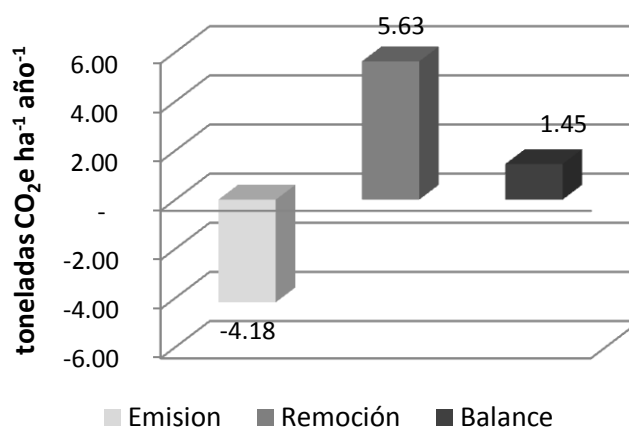


Figura 32. Balance de GEI de la finca de manejo mejorado (FMM2) del sistema doble propósito en Azuero, Panamá

El balance de esta finca fue positivo con un superávit de 1.45 CO₂e ha⁻¹año⁻¹, el uso de suelo que más aportó en la remoción fue las pasturas mejoradas con más del 65%, no obstante, al igual que la finca anterior también es significativo el aporte de las cercas vivas.

f. Finca código FMM3:

Hato compuesto por 46 animales (Cuadro 43) en pastoreo extensivo y manejo suplementario en verano con caña y sacharina. El área total de esta finca es de 15.20 ha, con una superficie productiva de 14.00 ha, y con una carga animal de 1.96 UA ha⁻¹. Las emisiones por unidad animal cabe señalar que presenta menor valor con 2.08 t CO₂e año⁻¹, y las emisiones respecto a la carga animal son de 3.47 tCO₂e ha⁻¹ año⁻¹

Cuadro 43. Composición del hato en la finca de manejo tradicional (FMM3)

Categorías	Nº animal
Vacas lactantes	15
Vacas secas	9
Sementales	1
Novillas +2 años	4
Novillas 1 año	3
Crías lactantes	14

Los usos de suelo identificados en la finca para el balance de gases son: pasturas naturales degradadas, pasturas mejoradas, pasturas mejoradas con árboles en baja densidad, corredor ribereño y cercas vivas (Cuadro 44). Su capacidad de remoción es de 6.26 t CO₂e ha⁻¹ año⁻¹.

Cuadro 44. Usos de suelos para compensación de GEI para la finca de manejo mejorado (FMM3)

Uso de suelo	ha	Remoción t CO ₂ e
PND	3.00	-9.70
PM	7.00	52.77
PMB	3.00	30.59
CV/ km	4.20	64.29
CR/km	0.50	4.46
Total		142.42

PND: pasturas naturales degradadas en monocultivo; PMB: pasturas mejoradas con baja densidad de árboles; PM: pasturas mejoradas en monocultivo; CV:cerca viva; CR: corredor ribereño

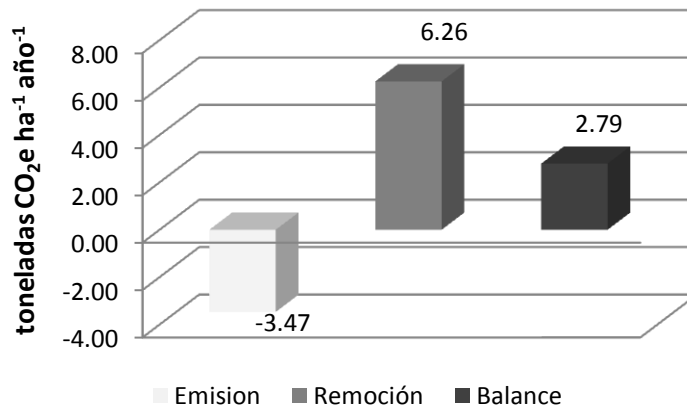


Figura 33. Balance de GEI de la finca de manejo mejorado (FMM3) del sistema doble propósito en Azuero, Panamá

El balance de esta finca fue positivo con un superávit de 2.79 t CO₂e ha⁻¹ año⁻¹, los usos de suelo que mayor aporte hicieron a la remoción fueron los pastos mejorados y la cerca viva, y el corredor ribereño fue el uso de suelo que menos aportó al balance de GEI (Cuadro 44).

En general con relación al balance de las fincas analizadas, se pudo observar que las fincas con manejo tradicional (FMT) obtuvieron balance negativo en el cual incidió principalmente la presencia del uso de suelo de pasturas degradadas lo que comprometió el potencial de remoción del capital natural cuyo promedio fue de 0.87 t CO₂e ha⁻¹ año⁻¹, a diferencia de las fincas de manejo mejorado (FMM), las cuales obtuvieron balance positivo y cuyo promedio del potencial de remoción fue de 5.63 79 t CO₂e ha⁻¹ año⁻¹. En estudio realizado por GAMMA (2010) con diferentes sistemas de producción ganadera (doble propósito, lechería y engorde) señala que las fincas de los sistemas doble propósito tienen menores inconvenientes para obtener balances positivos, a diferencia de los resultados obtenidos en este trabajo donde principalmente por la deficiencia de manejo en el capital natural (degradación de los pastos y cobertura vegetal) se ve afectado negativa mente el balance.

Valoración en estrategias de mitigación

Para la valoración de la estrategia de mitigación se seleccionaron dos de las fincas de manejo tradicional (FMT2 y FMT3), cuyo balance fue negativo ya que la estrategia de mitigación se relaciona directamente con la deuda de carbono.

Para realizar la modelación se generaron los siguientes supuestos:

- ✓ Inversión en recuperación de 80-100 % de pasturas degradadas.
- ✓ Incremento en capacidad en remoción por el capital natural de GEI de PD (-0.77 tCO₂e ha⁻¹ año⁻¹) con la implementación de SSP de pasturas mejorada con arboles dispersos (2.12 tC ha⁻¹ año⁻¹).
- ✓ El periodo para realizar el total de las mejoras es de 3 años.
- ✓ Incremento en la productividad de los animales por selección genética 25% (Guerra 1991).
- ✓ Incremento en la producción por mejoras en el confort animal y calidad de las pasturas 10% - 22 % (Villanueva 2010)¹¹.
- ✓ Disminución en las emisiones de origen animal por mejoras en la calidad de la dieta y selección animal.
- ✓ Inversión en transformación de cercas muertas en cercas vivas.
- ✓ La vida útil de las pasturas mejoradas se contempló de 10- 12 años (Holmann et ál 2004)
- ✓ La vida útil de las vacas en ordeño se estimó en 6 lactancias (Carazo 1986)
- ✓ La tasa de remoción utilizada para PMB, PM, PD, CV, AT; CR, fue la obtenida en el capítulo 2, y para el uso de suelo con pastura mejorada y alta densidad de arboles fue de 3.1 tC ha⁻¹ año⁻¹ (CO2Fix en Esparza Chacon 2007)

A. Modelación de estrategia silvopastoril en la finca FMT2:

La línea base para la valoración de alternativas de mitigación son las condiciones de la finca descrita a continuación:

- ✓ Presenta 13 ha en pasturas degradadas (60% del uso de suelo)

¹¹ (Sauza 2002, Betancourt et ál 2003, restrepo et ál 2004 citados por Villanueva 2010)

- ✓ Actualmente esta finca tiene el 40% de los animales en producción por debajo de la media en época lluviosa (3.4 litros diarios).
- ✓ Ganancia de peso en animales lactantes de 0.12 kg día⁻¹

Primera etapa (1 año):

- ✓ Conversión de 3 Ha de pasturas degradadas en pasturas mejoradas de Brachiarias asociadas con maderables¹² en alta densidad (100 árboles ha⁻¹), con un costo total de establecimiento y mantenimiento de \$761.00 US ha⁻¹ (costo según vida útil 76.1 US ha⁻¹año⁻¹) (Anexo 4).

Cuadro 45. Indicadores productivos de línea base con modelación de mejoras de 3 ha

Indicador	Línea base	Modelación	Mitigación
	Kg días ⁻¹	Kg días ⁻¹	
Producción leche	2.65	3.01	
	<i>CO₂e t ha⁻¹año⁻¹</i>	<i>CO₂e t ha⁻¹año⁻¹</i>	<i>CO₂e t ha⁻¹año⁻¹</i>
Remoción	0.82	3.36	2.54
Emisiones	2.79	2.28	0.50
Balance	-1.96	1.08	

Ibrahim et ál (2007) determinaron que en los SSP hay mayor capacidad en captura de C, que en una PD. Los efectos agregados por la estrategia de mitigación (reducción de emisiones + incremento en remociones) se estimaron en 3.04 t CO₂e ha⁻¹ año⁻¹, con un costo de \$20.82 US/t CO₂e ha⁻¹año⁻¹.

Segunda etapa (2° y 3° año):

- ✓ Conversión de 3 Ha de pasturas degradadas en pasturaa mejoradaa de Brachiarias con baja densidad (20 árboles ha⁻¹), con un costo total de establecimiento y mantenimiento de \$281.00 US ha⁻¹ (costo según vida útil \$28.10 US ha⁻¹año⁻¹), está inversión se planificó para un periodo de 1 año (Anexo 5).

¹² Método de siembra de cero labranza.

- ✓ Selección animal por encima de la media de producción de leche (reducción del lote), se reemplaza el 40% de las vacas (venta de 5 animales) por 3 vacas con promedio de producción de 8 litros .

Bajo la modelación (Cuadro 46) con el incremento en la capacidad del capital natural permite compensar las emisiones del sistema productivo y reduce la huella de carbono en la producción de leche.

Cuadro 46. Indicadores productivos de línea base con modelación de mejoras en 3 ha

Indicador	Línea base	Modelación	Mitigación
	Kg días ⁻¹	Kg días ⁻¹	
Producción leche	3.01	4.91	
	<i>CO₂e t ha⁻¹año⁻¹</i>	<i>CO₂e t ha⁻¹año⁻¹</i>	<i>CO₂e t ha⁻¹año⁻¹</i>
Remoción	3.36	5.05	1.65
Emisiones	2.28	1.84	0.435
Balance	1.08	3.17	

Los efectos agregados por la estrategia de mitigación (reducción de emisiones + incremento en remociones) se estimaron en 2.08 t CO₂e ha⁻¹ año⁻¹, con un costo de mitigación de \$11.22 US/t CO₂e ha⁻¹año⁻¹, en el cual no se asumió el costo de la mejora en los animales ya que se contempló la venta de 5 animales con lo que se compraría 3 animales de mayor producticvidad (8 kg/leche día⁻¹). A lo largo del periodo de mejoras en las fincas se llega a obtener un balance positivo y un superabit de 4.25 t CO₂e año⁻¹.

Al implementar las mejoras en la finca se obtiene efectos positivos tanto en el productividad animal como en la mitigación de emisiones. A lo largo de la modelación principalmente se ve un efecto significativo en el incremento del potencial del capital natural por remoción de GEI en 83% y una reducción en la emisiones del 34% por mejoras de la dieta, reducción animal y mejora genética a lo que se refiere Eckard (2007), donde la selección en el ható pudo llegar a reducir las emisiones de CH₄ desde 10.4%.

Igualmente se pudo apreciar que las mejoras insiden en la producción animal en la primera etapa (1ºaño) donde se produjo un incremento del 11% de la productividad animal, siendo esté efecto relacionado por el incremento en la calidad de la dieta y en la segunda etapa (2º y 3º año) se obtuvo mayo variación en la productividad animal ya que se incluyeron mejoras en el componente genético de los animale. Trabajos realizados en diferentes lugares

han demostrado el efecto de la inclusión de árboles en potreros y la mejora de la calidad de pastos incrementa la productividad animal (carne / leche) entre 15% a 20% (Betancourt et ál. 2003 y Ibrahim et ál. 2007).

B. Modelación de estrategia silvopastoril en la FMT3:

El 56% del total de pasturas presenta degradación comprometiendo el potencial del capital natural con que cuenta la finca el cual tiene una capacidad de remoción de 0.53 t CO₂e ha⁻¹ año⁻¹, y la misma tiene una intensidad de emisiones GEI con deficit de -4.89 t CO₂e ha⁻¹ año⁻¹ en la producción. Esta finca tiene una huella de carbono de 2.25 Kg CO₂e/Kg leche y de 14.76 Kg CO₂e/Kg Carne.

Planteamiento de mejoras en finca:

- ✓ Mejorar de 3 ha de pasturas degradadas a pastura mejorada regeneración natural
- ✓ Mejora 300 m de cerca muerta por cerca viva con *Gliricidia sp.*

Según lo obtenido en la modelación (Cuadro 41), la capacidad del capital natural reduce la huella de carbono para la producción de carne y leche, dando como resultado un balance positivo. Esta finca cuenta con buen encaste de Holstein con Cebú, por lo que se contempla solo como estrategia cambios en el uso de suelo.

Cuadro 47. Indicadores productivos de línea base y de modelación de mejoras en 3 ha

Indicador	Línea base	Modelación	Mitigación
	Kg días ⁻¹	Kg días ⁻¹	
Producción leche	3.43	5.99	
	CO ₂ e t ha ⁻¹ año ⁻¹	CO ₂ e t ha ⁻¹ año ⁻¹	CO ₂ e t ha ⁻¹ año ⁻¹
Remoción	1.25	8.00	6.75
Emisiones	-6.52	4.79	1.49
Balance	-5.04	3.20	

Los beneficios agregados obtenidos (reducción de emisiones + incremento en remociones) se estimaron en 8.25 t CO₂e ha⁻¹ año⁻¹. El costo de la mejora es de \$103.22 US ha⁻¹ año⁻¹, y la aplicación de las estrategias para la mitigación es de \$12.51 US tCO₂e ha⁻¹ año⁻¹.

Con la modelación de las mejoras en las fincas negativas observamos la importancia de la inclusión de SSP por sus efectos en la mitigación de los GEI, principalmente enfocado en el capital natural donde se dieron aumentos del potencial en remoción entre los rangos de 1.39 a 6 t CO₂e ha⁻¹ año⁻¹, cuya proporción corresponde entre el 43% al 84%. Al respecto Botero (sf), Beer et ál (2003) e Inbrahim et ál (2007) señalan la importancia de SSP tiene mayor producción primaria neta lo que implica mayor remoción del CO₂e a demás dichos sistemas bien manejados pueden incrementar en la productividad animal, donde el incremento de anual de varía entre 6.48 y 18.72 t CO₂e, (representa 1.8 t y 5.2t C año⁻¹).

Se pudo observar que en ambas fincas, respecto al balance, al modelar las mejoras se obtuvo que las fincas negativas (deuda de CO₂e) pasan a ser fincas con un balance positivo, adicionalmente obteniendo un superavit en CO₂e, con un costo de mitigación (t CO₂e) entre los valores de \$11.22 a \$20.82 US/t CO₂e.

En trabajos en Esparza, Costa Rica, Casasola et ál (2009), en un periodo de 4 años se les contribuyó a los productores ganaderos con \$91,8 US ha⁻¹, correspondiendo aproximadamente a \$22,95 US ha⁻¹ año⁻¹.

4 CONCLUSIONES

1. En los manejos del SDP analizados, las fincas con intensidad de manejo media (FMM) obtienen balance positivo y un superavit en el potencial de remoción que les da margen para una comercialización de servicios en emisiones, si se diera el caso de pagos por servicios ambientales o por sellos de compensación.
2. Tomando en cuenta las emisiones por UA, las fincas de manejo con manejo tradicional (FMT) son las que tiene mayor emisión por unidad animal y presentan balance negativo en su mayoría.
3. Para el ACV según las emisiones por unidad productiva, se observa que las FMT tiene mayores emisiones por unidad de producto tanto en la leche como en la carne, en relación a las FMM.

4. Al comparar el potencia de remoción de C por hectarea⁻¹ vemos que las FMM tiene mayor potencia en remoción de GEI que el FMT, lo que se relaciona la menor presencia de pasturas degradadas.
5. En la modelación de las mejoras realizadas a las fincas con balance negativo (FMT1 y FMT2), se cumplen con el criterio de mitigación ya que reducen tanto las emisione por procesos como incrementan el potencial de remoción del sistema.
6. Es importante resaltar que en Panamá no hay ley de incentivo por servicios ambientales para la ganadería, lo que dificulta el interes de los productores en hacer mejoras más cuando esta incide en una inversión. El costo de la mitigación en CO₂e está relacionado a multiples factores en la finca, que como la productividad animal (kg leche o kg carne), carga animal, tipos de usos de suelo.

5 RECOMENDACIONES

De los SSP analizados, las cercas vivas tiene un aporte significativo en el potencial de remoción más estable para estos sistemas ya que por tradición los productores mantienen árboles en las cercas, mientras que los pastos son más susceptible a variaciones por manejos inadecuados.

Es impórtate plantear a nivel nacional una política de pago o incentivos por servicios ambientales ya que como podemos ver en este trabajo los sistemas productivos doble propósito tiene un impacto ambiental que se debe mejorar. Estos resultados sirven como antecedente para valorar el servicio en captura de C que las fincas de la región de Azuero están brindando.

6 BIBLIOGRAFIA CITADA

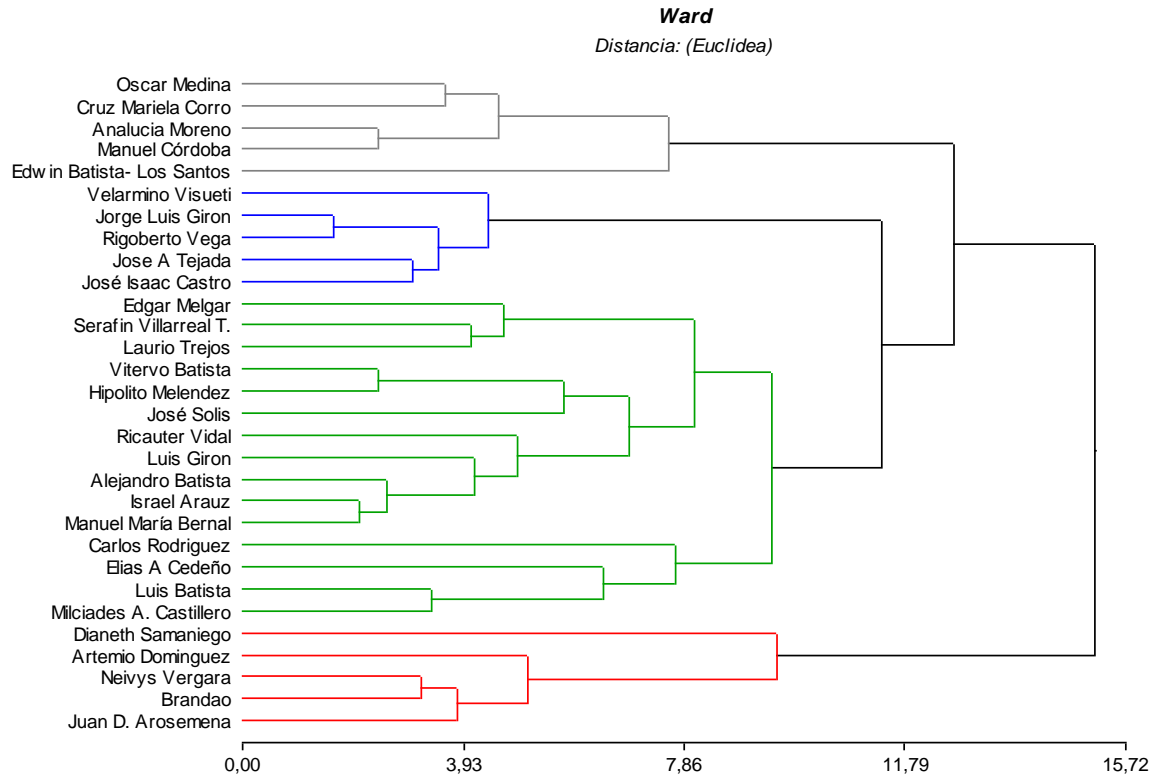
- Ávila, G; Jimenez F; Beer John, Gomez M; Ibrahim M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. Revista agroforestería de las Américas. Vol. 8 N° 30, 2001.
- Botero, B. J. sin fecha. Los sistemas silvopastoriles como sumideros de dióxido de carbono equivalente. Consultado nov. 2010. Disponible en: http://201.234.78.28:8080/dspace/bitstream/123456789/174/1/20061127115639_Sistemas%20silvopastoriles%20sumidero%20CO2.pdf
- GAMMA (Programa de Ganadería y manejo del medio ambiente). 2010. Programa de fomento de la producción agropecuaria sostenible. Determinación del balance de los GEI en fincas Ganaderas de la región de Chorotega. Como elemento de referencia para mejorar la competitividad. Informe final. SP N° 14-2009 250p.
- Guerra L. 2008. Construcción de la huella de carbono a escala de paisaje para zona ganaderas de Esparza y Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para carne y leche en una finca doble propósito, Costa Rica. 9p.
- Ibrahim, M; Villanuevas, C.P; Casasola, F. 2007b. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rentabilidad ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. XX reunión ALPA, XXX APPA-Cusco- Perú. Archivo Latinoamericano de Producción Animal. Vol. 15: 1. p. 73-87.
- Marmol J.F. 2006. Manejo de pastos y forrajeras en la ganadería de doble propósito. X Seminario de Pastos y Forrajes. Consultado dic. 2010. Disponible en: http://www.avpa.ula.ve/congresos/seminario_pasto_X/Conferencias/A1-Jesus%20Faria%20Marmol.pdf
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Haensel G. 2010. Producción y rentabilidad de Sistemas Silvopastoriles. Estudios de caso en América Central. CATIE.79p.

Wackernagel, M; Rees, W. 2001. Nuestra Huella ecológica. Reduciendo el impacto humano sobre la tierra. Colección ecología & medio ambiente.

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. Parte 3 Sistemas silvopastoriles para la adaptación al cambio climático en Centroamérica. Capítulo 8. Informe técnico N° 377. 147p.

ANEXOS

Anexo 1. Conglomerado para selección de fincas



FMT1: Edgar Melgar
 FMT2: Luis Giron
 FMT3: Milciades Castillero

FMM1: Oscar Medina
 FMM2: Velarmino Visueti
 FMM3: Brandao

Anexo 2. Análisis de laboratorio para determinación de materia orgánica en suelos de Azuero, Panamá



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO DE LOS SANTOS
LABORATORIO ESPECIALIZADO DE SUELOS Y TEJIDO FOLIAR
LAS TABLAS, PROVINCIA DE LOS SANTOS, PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ
TELÉFONOS: 994-6813/994-7399/ 523-3204 Fax: 994-8080

Para: Jéssica Hassan

N° Lab	N° Muestra	M.O	
		%	Interpretación
129	67	0.40	Bajo
	68	1.07	Bajo
	69	3.22	Medio
	70	3.48	Medio
	71	0.40	Bajo
	72	1.88	Bajo
	73	3.08	Medio
	74	0.27	Bajo
	75	0.13	Bajo
	76	0.13	Bajo
	77	3.48	Medio
	78	2.01	Bajo
	79	1.34	Bajo
	80	4.15	Medio
	81	0.54	Bajo
	82	2.81	Bajo
	83	0.80	Bajo
	84	1.47	Bajo

N° Lab	N° Muestra	M.O	
		%	Interpretación
129	85	3.22	Medio
	86	2.55	Bajo
	87	1.34	Bajo
	88	5.49	Medio
	89	2.41	Bajo
	90	2.28	Bajo
	91	1.34	Bajo
	92	2.28	Bajo
	93	1.21	Bajo
	94	3.35	Medio
	95	1.88	Bajo
	96	1.34	Bajo
	97	Tr	Tr
	98	2.14	Bajo
	99	1.61	Bajo
	100	1.21	Bajo
	101	0.40	Bajo

- ❖ Las muestras enviadas a analizar en el laboratorio de Análisis de Suelo y Tejido Foliar se guardarán sólo por un periodo de un mes, después de entregado el análisis solicitado.
- ❖ Cualquier reclamo presentarlo antes que transcurra el tiempo estipulado.

Analista: Ing. Agr. Franklin E. Wilcox C.

Autorizado: Ing. Arg. MSc. José N. Rivera

CONSEJO TÉCNICO NACIONAL
 DE AGRICULTURA
JOSÉ RIVERA R.
 INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA
 IDONEIDAD N° 754-82

2010: "Año del 75° Aniversario".



Anexo 3. Laboratorios de suelo para la determinación de MO de las fincas del SDP en Azuero.

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO DE LOS SANTOS
LABORATORIO ESPECIALIZADO DE SUELOS Y TEJIDO FOLIAR
 LAS TABLAS, PROVINCIA DE LOS SANTOS, PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ
 TELÉFONOS: 994-6813/994-7399/ 523-3204 Fax: 994-8080

Para: Jéssica Hassan

N° Lab	N° Muestra	M.O	
		%	Interpretación
124	1	0.80	Bajo
	2	2.28	Bajo
	3	1.07	Bajo
	4	0.40	Bajo
	5	1.74	Bajo
	6	0.54	Bajo
	7	2.14	Bajo
	8	Tr	Tr
	9	Tr	Tr
	10	1.74	Bajo
	11	0.67	Bajo
	12	0.40	Bajo
	13	2.41	Bajo
	14	1.34	Bajo
	15	1.74	Bajo
	16	2.28	Bajo
	17	1.34	Bajo

N° Lab	N° Muestra	M.O	
		%	Interpretación
124	18	0.40	Bajo
	19	0.80	Bajo
	20	1.34	Bajo
	21	1.34	Bajo
	22	Tr	Tr
	23	1.21	Bajo
	24	0.67	Bajo
	25	1.21	Bajo
	26	0.67	Bajo
	27	0.67	Bajo
	28	1.21	Bajo
	29	1.88	Bajo
	30	2.41	Bajo
	31	2.55	Bajo
	32	3.22	Medio
	33	3.08	Medio
	34	2.81	Bajo

- ❖ Las muestras enviadas a analizar en el laboratorio de Análisis de Suelo y Tejido Foliar se guardarán sólo por un periodo de un mes, después de entregado el análisis solicitado.
- ❖ Cualquier reclamo presentarlo antes que transcurra el tiempo estipulado.

Analista: Ing. Agr. Franklin E. Wilcox C.

Autorizado:  Ing. Arg. MSc. José N. Rivera

CONSEJO TÉCNICO NACIONAL DE AGRICULTURA 2010: "Año del 75° Aniversario".
JOSÉ RIVERA R.
 INGL...



Anexo 4. Laboratorios de suelo para la determinación de MO de las fincas del SDP en Azuero.



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO DE LOS SANTOS
LABORATORIO ESPECIALIZADO DE SUELOS Y TEJIDO FOLIAR
LAS TABLAS, PROVINCIA DE LOS SANTOS, PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ
TELÉFONOS: 994-6813/994-7399/ 523-3204 Fax: 994-8080

Para: **Jéssica Hassan**

N° Lab	N° Muestra	M.O	
		%	Interpretación
125	35	2.14	Bajo
	36	2.95	Bajo
	37	1.34	Bajo
	38	2.68	Bajo
	39	1.88	Bajo
	40	1.21	Bajo
	41	4.15	Medio
	42	3.89	Medio
	43	1.61	Bajo
	44	2.95	Bajo
	45	2.95	Bajo
	46	1.34	Bajo
	47	2.68	Bajo
	48	0.80	Bajo
	49	0.40	Bajo
	50	1.74	Bajo
	51	1.61	Bajo

N° Lab	N° Muestra	M.O	
		%	Interpretación
125	52	3.22	Medio
	53	2.55	Bajo
	54	6.16	Alto
	55	1.07	Bajo
	56	3.08	Medio
	57	2.14	Bajo
	58	3.89	Medio
	59	1.07	Bajo
	60	2.41	Bajo
	61	0.94	Bajo
	62	1.88	Bajo
	63	3.62	Medio
	64	2.28	Bajo
	65	1.47	Bajo
	66	1.21	Bajo

- ❖ Las muestras enviadas a analizar en el laboratorio de Análisis de Suelo y Tejido Foliar se guardarán sólo por un periodo de un mes, después de entregado el análisis solicitado.
- ❖ Cualquier reclamo presentarlo antes que transcurra el tiempo estipulado.

Analista: Ing. Agr. Franklin E. Wilcox C.

Autorizado: Ing. Arg. MSc. José N. Rivera

CONSEJO TÉCNICO NACIONAL
 DE AGRICULTURA
JOSÉ RIVERA R.
 INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA
 IDONEIDAD N° 794-82

2010: "Año del 75° Aniversario".



Anexo 5. Establecimiento de pasturas mejorada con cero labranza y establecimiento de 100 árboles, maderables o frutales (alta densidad)

Etapa	Rubro	cantidad	C/u	C. total
Mano de obra	jornal	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Herbecida	litros	4	\$ 5.00	\$ 20.00
Semilla	kg	10	\$ 2.50	\$ 25.00
Mano de obra	jornal	0.50	\$ 10.00	\$ 5.00
Sub- total	Establecimiento			\$ 60.00
Mano de obra	jornal	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Herbicida	litros	2	\$ 4.25	\$ 8.50
Fertilizante	quintal	3	\$ 27.50	\$ 82.50
Sub total	Mantenimiento			\$ 101.00
Sub- Total				\$ 161.00
Plantón y establecimiento protección con alambre				
Maderables	plantón	100	\$ 6.00	\$ 600.00
Total				\$ 761.00

Valor de los insumos actualizados hasta dic.- 2010

Anexo 6. Establecimiento de 1 ha de pasto mejorado con baja densidad de árboles maderables o frutales (20 árboles)

Etapa	Rubro	Cantidad	C/u	C. total
Mano de obra	jornal	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Herbecida	litros	4	\$ 5.00	\$ 20.00
Semilla	kg	10	\$ 2.50	\$ 25.00
Mano de obra	jornal	0.50	\$ 10.00	\$ 5.00
Sub total	Establecimiento			\$ 60.00
Mano de obra	jornal	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Herbicida	litros	3	\$ 4.25	\$ 12.75
Fertilizante	quintal	3	\$ 27.50	\$ 82.50
Sub total	Mantenimiento			\$ 101.00
Total 1				\$ 161.00
Plantón y establecimiento protección con alambre				
Maderables	plantón	20	\$ 6.00	\$ 120.00
Total				\$ 281.00

Valor de los insumos actualizados hasta dic.- 2010

Anexo 7. Mejoras de 300 m cercas muerta por cerca viva de Gliricidia sp.

Etapas	Rubro	Cantidad	C/u	C. total
Mano de obra	jornal	4	\$ 10.00	\$ 40.00
Estacas	unidad	300	\$ 0.30	\$ 90.00
Alambre	rollo	2	\$ 37.00	\$ 74.00
Grapas	libra	3	\$ 0.95	\$ 2.85
Total	Establecimiento			\$206.85

Valor de los insumos actualizados hasta dic- 2010

Anexo 8. Establecimiento de 0.5 ha de un banco forrajero de caña.

Actividad	Unidad	Cantidad	Unitario	Total
Roma	horas	1.5	\$ 30.00	\$ 45.00
Surco	horas	0.5	\$ 25.00	\$ 12.50
Semilla	toneladas	2	\$ 10.00	\$ 40.00
Mano de obra	jornal	3	\$ 10.00	\$ 30.00
Sub total	Establecimiento			\$127.50
Mano de obra limpieza y uso	jornal	20	\$ 10.00	\$ 200.00
Herbicida	galón	1	\$ 16.00	\$ 16.00
Abono	quintal	1	\$ 17.80	\$ 17.80
Sub total	Mantenimiento			\$ 217.80
	Total			\$345.30

Valor de los insumos actualizados hasta dic.- 2010