

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE ZOOTECNIA

Estimación de las emisiones y captura de CO₂ en tres sistemas de producción dedicados a la ganadería de carne en la zona sur de Costa Rica

Solanlly Gamboa Retana

Proyecto para optar por el título en el grado académico de Licenciatura en
Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2016

TRIBUNAL EVALUADOR

Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia

M. Sc. Rodolfo WingChing-Jones

Director de tesis

M. Sc Miguel Ángel Vallejo Solís

Miembro del tribunal

M. Sc. Augusto Rojas Bourrillón

Miembro del tribunal

Ph. D. Luis Villalobos Villalobos

Miembro del tribunal

M.Sc. Carlos Arroyo Oquendo

Director de Escuela

Solanlly Gamboa Retana

Sustentante

DEDICATORIA

A mis padres por su amor, apoyo y comprensión durante toda mi vida
A mi novio Terry Villalobos, por estar a siempre a mi lado
A mis hermanos, Rebeca y Giancarlo, por su apoyo y consejos
A mis sobrinos, Neithan y Samantha por recordarme la alegría de ser niños
A mi compañero inseparable Paco, por su amor incondicional

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, por permitirme alcanzar un triunfo más en mi vida.

A mis familiares por sus consejos, apoyo, motivación y el esfuerzo que realizaron para que hoy pueda alcanzar un triunfo más en mi vida,

A Terry Villalobos Vargas, por su amor, apoyo y ayuda siempre, en especial durante mi carrera profesional.

Al profesor Rodolfo WingChing Jones por su ayuda y asesoría.

A Donald Villalobos (MAG), Victoria Arronis (INTA), Hugo Soto (CORFOGA) y Pablo Rodríguez (PNUD) por su ayuda y apoyo durante la realización de la tesis.

A los productores Eduardo Padilla, Geovanny Villegas, Donald Guadamúz y sus familiares, por haberme abierto las puertas no solo de sus fincas sino también la de sus familias.

A todos mis compañeros en especial a Paola Rodríguez, Ericka Elizondo, Luis Zamora y Luis Alejandro Rodríguez, por su ayuda y amistad durante todos los años de mi carrera profesional.

Mil gracias a todos.

INDICE GENERAL

Contenido Páginas

TRIBUNAL EVALUADOR	<i>i</i>
DEDICATORIA	<i>ii</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>iii</i>
INDICE GENERAL	<i>iv</i>
INDICE DE CUADROS	<i>viii</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>xi</i>
ÍNDICE DE ECUACIONES	<i>xiv</i>
ÍNDICE DE ANEXOS	<i>xv</i>
RESUMEN	<i>xvi</i>
1 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	1
1.1 SITUACIÓN MUNDIAL	1
1.1.1 Sector agropecuario	2
1.1.2 Fuentes de emisión del sector agropecuario	3
1.2 SITUACIÓN EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	4
1.3 SITUACIÓN NACIONAL	5
1.3.1 Fuentes de emisión	6
1.3.2 Fuentes de captura de carbono	8
1.4 CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	8
1.5 ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN	9
2 ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO	11
2.1 Cambio climático	11
2.2 Gases de efecto invernadero (GEI)	11
2.3 Forzamiento radiativo	11
2.4 Emisión de CO ₂ -equivalente	12
2.5 Emisiones de GEI provenientes de la ganadería	12
2.5.1 Emisiones de CH ₄ provenientes de la fermentación entérica	12
2.5.2 Emisiones de CH ₄ y N ₂ O provenientes de la gestión del estiércol	14
2.5.3 Emisiones de CO ₂ y N ₂ O provenientes de la producción, elaboración y transporte de materias primas, pastos y fertilizantes	14
2.5.4 Emisiones de CO ₂ provenientes del consumo de energía	14
2.6 Estimación de las emisiones en ganadería de carne	15
2.6.1 Identificación de las fuentes	15

2.6.2	Recolección de datos	15
2.6.3	Cálculo de emisiones	15
2.7	Captura de carbono	19
2.7.1	Biomasa sobre el suelo	19
2.7.2	Biomasa en bosques	20
2.7.3	Parcelas permanentes de muestreo (PPM)	20
2.7.4	Captura de carbono en bosques	21
2.7.5	Factor de expansión de la biomasa (FEB)	21
2.7.6	Fracción de carbono en la biomasa	21
2.7.7	Captura de carbono en el suelo	22
3	OBJETIVOS	23
3.1	a. General:	23
3.2	b. Específicos:	23
4	PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA	24
4.1	Procedimiento general	24
4.1.1	Encuesta	24
4.1.2	Caracterización de las fincas	24
4.1.3	Estimación de las emisiones de GEI	25
4.1.3.1	Estimación de las emisiones de CH ₄ por fermentación entérica	25
4.1.3.2	Estimación de las emisiones de CH ₄ por producción de excretas	26
4.1.3.3	Estimación de las emisiones de N ₂ O por producción de excretas	27
4.1.3.4	Estimación de las emisiones de CO ₂ por el uso de combustible	27
4.1.3.5	Estimación de la emisión de CO ₂ por uso de electricidad	28
4.1.3.6	Estimación total al año de las emisiones de GEI para las fincas	29
4.1.4	Estimación de la captura CO ₂	29
4.1.4.1	Estimación de la captura de CO ₂ por cercas vivas	29
4.1.4.2	Estimación de la captura de CO ₂ por bosques	30
4.1.4.3	Estimación de la captura de CO ₂ por pasturas	31
4.1.4.4	Estimación de la captura de CO ₂ por árboles dispersos en potreros	32
4.1.4.5	Estimación de la captura de CO ₂ por bancos forrajeros	33
4.1.4.1	Estimación de la captura de CO ₂ por parte del suelo	34
4.1.4.2	Estimación total al año de la captura de CO ₂ de las fincas	35
4.1.5	Balance de CO ₂	35
4.1.6	Análisis de la información	35
4.1.7	Comparación de diferentes modelos de estimación del balance de CO ₂	36
4.1.8	Simulaciones	38
4.1.9	Inconsistencias	38
4.1.10	Elaboración de hoja electrónica para el cálculo de la emisión, captura y balance de CO ₂ en ganadería	38
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
5.1	Caracterización de las fincas	39
5.1.1	Finca La Dibujada	39
5.1.1.1	Ubicación	39
5.1.1.2	Características generales	39

5.1.2	Finca San Antonio	43
5.1.2.1	Ubicación	43
5.1.2.2	Características generales	43
5.1.3	Finca Térraba	46
5.1.3.1	Ubicación	46
5.1.3.2	Características generales	46
5.2	Estimación de las emisiones de GEI	49
5.2.1	Finca La Dibujada	49
5.2.1.1	Identificación de las fuentes de emisión	49
5.2.1.2	Emisión de CH ₄ fermentación entérica	49
5.2.1.3	Emisión de CH ₄ producción de excretas	50
5.2.1.4	Emisión de N ₂ O por producción de excretas	51
5.2.1.5	Emisión de CO ₂ por uso de combustible y electricidad en la finca	51
5.2.1.6	Emisión total de GEI	52
5.2.2	Finca San Antonio	53
5.2.2.1	Identificación de las fuentes de emisión	53
5.2.2.2	Emisión de CH ₄ fermentación entérica	53
5.2.2.3	Emisión de CH ₄ producción de excretas	54
5.2.2.4	Emisión de N ₂ O por producción de excretas	54
5.2.2.5	Emisión de CO ₂ por uso de combustible y electricidad en la finca	55
5.2.2.6	Emisión total de GEI	55
5.2.3	Finca Térraba	56
5.2.3.1	Identificación de las fuentes de emisión	56
5.2.3.2	Emisión de CH ₄ fermentación entérica	56
5.2.3.3	Emisión de CH ₄ producción de excretas	57
5.2.3.4	Emisión de N ₂ O por producción de excretas	58
5.2.3.5	Emisión de CO ₂ por uso de combustible y electricidad en la finca	58
5.2.3.6	Emisión total de GEI	58
5.2.4	Comparación de la emisión de GEI de los tres sistemas productivos	60
5.3	Estimación de la captura de CO₂	61
5.3.1	Finca La Dibujada	61
5.3.1.1	Captura de CO ₂ por cercas vivas	61
5.3.1.2	Captura de CO ₂ por bosque	62
5.3.1.3	Captura de CO ₂ por pasturas	65
5.3.1.4	Captura de CO ₂ por árboles dispersos en potreros	65
5.3.1.5	Captura de CO ₂ por bancos forrajeros	67
5.3.1.6	Captura de CO ₂ por parte del suelo	68
5.3.1.7	Captura total de CO ₂	68
5.3.2	Finca San Antonio	70
5.3.2.1	Captura de CO ₂ por cercas vivas	70
5.3.2.2	Captura de CO ₂ por bosque	71
5.3.2.3	Captura de CO ₂ por pasturas	73
5.3.2.4	Captura de CO ₂ por árboles dispersos en potreros	74
5.3.2.5	Captura de CO ₂ por bancos forrajeros	75
5.3.2.6	Captura de CO ₂ por parte del suelo	75
5.3.2.7	Captura total de CO ₂	75
5.3.3	Finca Térraba	77
5.3.3.1	Captura de CO ₂ por cercas vivas	77
5.3.3.2	Captura de CO ₂ por bosque	78
5.3.3.3	Captura de CO ₂ por pasturas	80
5.3.3.4	Captura de CO ₂ por árboles dispersos en potreros	80
5.3.3.5	Captura de CO ₂ por bancos forrajeros	81

5.3.3.1	Captura de CO ₂ por parte del suelo	82
5.3.3.2	Captura total de CO ₂	82
5.3.4	Comparación de la captura de CO ₂ de los tres sistemas productivos	83
5.4	Balance de CO₂	84
5.4.1	Finca La Dibujada	85
5.4.2	Finca San Antonio	85
5.4.3	Finca Térraba	86
5.4.4	Balance promedio	87
5.5	Simulaciones	88
5.6	Inconsistencias	91
5.7	Potencial de captura de bosques	92
5.8	Densidad aparente y carbono orgánico en el suelo	93
5.9	Comparación con otros modelos de estimación de las emisiones de metano (CH₄) por fermentación entérica	96
5.10	Desarrollo de una hoja electrónica para el cálculo de emisión, captura y balance de CO₂ en ganadería	97
5.10.1	Instrucciones	98
5.10.2	Caracterización de la finca	98
5.10.3	Ecuaciones y factores de emisión y captura de CO ₂	99
5.10.4	Estructura de hato	100
5.10.5	Fertilización	102
5.10.6	Uso de combustibles	104
5.10.7	Consumo de electricidad	105
5.10.8	Usos del suelo	106
5.10.9	Informe del balance de CO ₂	107
5.10.10	Escenarios hipotéticos	108
6	CONCLUSIONES	110
7	RECOMENDACIONES	111
7.1	Cuadro de Recomendaciones	112
8	LITERATURA CITADA	113
9	ANEXOS	128

INDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
1	Emisión de gases de efecto invernadero en Gt de CO ₂ -eq/año del sector ganadero y el aporte de cada una de las emisiones antropogénicas mundiales totales (%)	2
2	Emisión de metano (Gg CO ₂ -eq) por fermentación entérica y manejo del estiércol de ganado bovino en Costa Rica para el año 2010	7
3	Emisión de óxido nitroso (Gg CO ₂ -eq) de diferentes tipos de pastos en Costa Rica para el año 2010	7
4	Captura de carbono (t C/ha/año) de diferentes usos de la tierra en Costa Rica	8
5	Potencial de calentamiento global (PCG) de tres gases de efecto invernadero	12
6	Ecuaciones para estimar las emisiones de CO ₂ -eq en las fincas ganaderas dedicadas a la producción de carne	16
7	Cálculo de la población total promedio anual (PTPA)	16
8	Factores de emisión de metano por fermentación entérica según la categoría animal en los diferentes sistemas de producción bovina (Kg CH ₄ /cabeza/año)	17
9	Factores de emisión de metano (Kg CH ₄ /cabezas/año) para cada especie animal por la producción de excretas	17
10	Factor de emisión de óxido nitroso (kg/ N ₂ O-N animal/año) para cada especie animal por la producción de excretas	18
11	Producción de dióxido de carbono (kg CO ₂ -eq/litro combustible) por tipo de combustible	18
12	Factor de emisión del consumo eléctrico (kg CO ₂ -eq/kWh) para Costa Rica para el periodo 2008-2013	19
13	Estructura de hato promedio al año de la finca La Dibujada	40
14	Estructura de hato promedio al año de la finca San Antonio de Pejibaye	44
15	Estructura de hato promedio al año de la Finca Terraba	47
16	Emisión de CH ₄ por fermentación entérica (t de CO ₂ -eq) en la finca La Dibujada	50
17	Emisión de CH ₄ (t de CO ₂ -eq) por producción de excretas en finca La Dibujada	50

18	Emisión de N ₂ O (t de CO ₂ -eq) por producción de excretas en finca La Dibujada	51
19	Emisión anual de metano (CH ₄), óxido nitroso (N ₂ O) y dióxido de carbono (CO ₂) en t de CO ₂ -eq de la finca La Dibujada	52
20	Emisión de CH ₄ por fermentación entérica (t de CO ₂ -eq) en la finca San Antonio	53
21	Emisión de CH ₄ (t de CO ₂ -eq) por producción de excretas en la finca San Antonio	54
22	Emisión de N ₂ O (t de CO ₂ -eq) por producción de excretas en la finca San Antonio	54
23	Emisión de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono en t de CO ₂ -eq de la finca San Antonio	55
24	Emisión de CH ₄ por fermentación entérica (t de CO ₂ -eq) en la finca Térraba	57
25	Emisión de CH ₄ (t de CO ₂ -eq) por producción de excretas en la finca Térraba	57
26	Emisión de N ₂ O (t de CO ₂ -eq) por producción de excretas en la finca Térraba	58
27	Emisión de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono en t de CO ₂ -eq de la finca San Antonio	59
28	Emisión total de gases de efecto invernadero en porcentaje (%) de las fincas La Dibujada, San Antonio y Térraba	60
29	Estimación de la biomasa, captura de carbono (t de C/ha) y captura de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha) por parte del bosque secundario de la finca La Dibujada	64
30	Captura de carbono (t de C/ha) y CO ₂ (t de CO ₂ -eq) de cada uno de los bancos forrajeros y captura total de CO ₂ (t de CO ₂ -eq) de la finca La Dibujada	67
31	Estimación de la captura de CO ₂ en la biomasa de las diferentes fuentes de captura de la finca La Dibujada	69
32	Estimación de la biomasa, captura de carbono (t de C/ha) y captura de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha) por parte del bosque secundario de la finca San Antonio	72
33	Estimación de la captura de CO ₂ de los diferentes usos del suelo y captura total en t de CO ₂ -eq de la finca San Antonio	76
34	Estimación de la biomasa, captura de carbono (t de C/ha) y captura de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha) por parte del bosque secundario de la finca Térraba	79

35	Captura de carbono (t de C/ha) y CO ₂ (t de CO ₂ -eq) de cada uno de los bancos forrajeros y captura total de CO ₂ (t de CO ₂ -eq) de la finca Térraba	81
36	Estimación de la captura de CO ₂ por los diferentes componentes y captura total en t de CO ₂ -eq de la finca Térraba	82
37	Captura total de gases de efecto invernado en porcentaje (%) y de cada fuente de captura de las fincas La Dibujada, San Antonio y Térraba	84
38	Balance de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/año) de la finca La Dibujada	85
39	Balance de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/año) de la finca San Antonio	86
40	Balance de CO ₂ de la finca Térraba	87
41	Estimación del Balance de CO ₂ promedio (t de CO ₂ -eq/año) de las tres fincas evaluadas	87
42	Diferentes escenarios de captura de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/año) árboles dispersos en potreros al aumentar la cobertura arbórea de las pasturas en 10, 20 y 30 árboles/ha	89
43	Diferentes escenarios de captura de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/año) de árboles en cercas vivas al aumentar la cantidad en 10, 15 y 20 km.	90
44	Biomasa (t MS/ha) y potencial de captura de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha) de bosques secundarios de las fincas La Dibujada, San Antonio y Térraba	92
45	Contenido de carbono orgánico (t/ha) en el suelo en pasturas de las fincas La Dibujada, San Antonio y Térraba	93
46	Diferentes cambios en la densidad aparente del suelo en las tres fincas en estudio al aumentar el carbono orgánico del suelo en 1, 2 y 3%.	94
47	Comparación de tres modelos diferentes de estimación de las emisiones de CH ₄ por fermentación entérica en las fincas La Dibujada, San Antonio y Térraba	96
48	Resumen de recomendaciones para las fincas La Dibujada, San Antonio y Térraba	112

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
1	Fuentes de emisión de CO ₂ globales para el año 2004	2
2	Emisiones globales de las cadenas de suministro ganadero por categoría de emisiones	4
3	Fuentes de emisión GEI de procedentes del sector agropecuario de América Latina y el Caribe para el periodo 2001-2010	5
4	Emisión de CO ₂ -eq del sector agropecuario en Costa Rica periodo 2002-2012	6
5	Fuentes de emisión del sector agropecuario en Costa Rica en el periodo 2002-2012	6
6	Ubicación de las tres fincas dedicadas a la ganadería de carne ubicadas en la zona sur del país	24
7	Usos del suelo de la finca La Dibujada ubicada en Pilas de Buenos Aires, Puntarenas	39
8	Usos del suelo de la finca San Antonio, ubicada en Pejibaye de Pérez Zeledón.	43
9	Usos del suelo de la finca Terraba ubicada en Buenos Aires, Puntarenas	46
10	Fuentes de emisión de GEI de la finca La Dibujada, Pilas de Buenos Aires	52
11	Fuentes de emisión de GEI de la Finca San Antonio, ubicada en Pejibaye, Pérez Zeledón	56
12	Fuentes de emisión de GEI de la Finca Terrába, ubicada en Buenos Aires, Puntarenas	59
13	Circunferencia de los árboles del bosque secundario de la finca Terraba, Buenos Aires	61
14	Captura total de CO ₂ (%) de la finca La Dibujada, Pilas de Buenos Aires	62
15	Diferentes grosores de troncos de árboles del bosque secundario de la finca La Dibujada, Pilas de Buenos Aires	63
16	Árboles dispersos en potreros en la finca La Dibujada, Pilas de Buenos Aires	66
17	Banco proteico de caña forrajera y banco energético de cratylia de la finca La Dibujada, Pilas de Buenos Aires	68
18	Captura total de CO ₂ (%) de la finca La Dibujada, Buenos Aires	69

19	Composición y la densidad de las cercas vivas de la finca San Antonio, Pejibaye de Pérez Zeledón	70
20	Circunferencia de los árboles del bosque secundario de la finca San Antonio, Pejibaye de Pérez Zeledón	71
21	Densidad de las copas de los árboles del bosque secundario de la finca San Antonio, Pejibaye de Pérez Zeledón	72
22	Descripción de los potreros de la finca San Antonio con alta y baja densidad de árboles dispersos	74
23	Captura total de CO ₂ (%) de la finca San Antonio, Pejibaye de Pérez Zeledón	76
24	Diferentes densidades de cercas vivas de la finca Térraba, Buenos Aires	77
25	Circunferencia de los árboles del bosque secundario de la finca Térraba, Buenos Aires	78
26	Circunferencia de los árboles del bosque secundario de la finca Térraba, Buenos Aires	79
27	Captura total de CO ₂ (%) de la finca Térraba, Buenos Aires	83
28	Balance de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/año) de las fincas La Dibujada, San Antonio y Térraba	88
29	Cerca viva conformada por maría colorado (<i>Miconia argentea</i>)	91
30	Portada de la hoja electrónica de cálculo de las emisiones, captura y balance de CO ₂ en fincas ganaderas	97
31	Sección de la hoja electrónica de cálculo del Balance de CO ₂ correspondiente a caracterización de la finca	98
32	Sección ecuaciones de cálculo y factores de emisión y captura para la estimación del balance de CO ₂	100
33	Sección correspondiente a estructura de hato de la hoja electrónica de cálculo del balance de CO ₂ en fincas ganaderas	101
34	Estructura de hato y emisión de GEI por fermentación entérica y producción de excretas de una finca dedicada a la ganadería de carne	102
35	Sección correspondiente a fertilización en la hoja electrónica de estimación del balance de CO ₂ en fincas ganaderas	102
36	Subsecciones fertilización orgánica y aguas verdes	103
37	Sección de combustible de la hoja electrónica de cálculo del balance de CO ₂ en fincas ganaderas	104

38	Continuación de la sección de combustible de la hoja electrónica de cálculo del balance de CO ₂ en fincas ganaderas	105
39	Sección consumo de electricidad de la hoja electrónica de cálculo del balance de CO ₂ en fincas ganaderas	106
40	Sección usos del suelo de la hoja electrónica de estimación del balance de CO ₂ en fincas ganaderas	107
41	Sección de reporte de la hoja electrónica de estimación del balance de CO ₂ en fincas ganaderas	108
42	Sección de escenarios hipotéticos de la hoja electrónica de estimación del balance de CO ₂ en fincas ganaderas	109

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN	TÍTULO	PÁGINA
1	Cálculo del número de parcelas	20
2	Estimación de la capacidad de carga del forraje	25
3	Estimación de las emisiones de CH ₄ por fermentación entérica	26
4	Estimación de las emisiones de CH ₄ por producción de excretas	26
5	Estimación de las emisiones de N ₂ O por producción de excretas	27
6	Estimación de las emisiones de CO ₂ por el uso de combustible	28
7	Estimación de la emisión de CO ₂ por uso de electricidad	28
8	Estimación de la biomasa en cercas vivas	29
9	Estimación de la captura de CO ₂ por cercas vivas	30
10	Estimación de la biomasa de los bosques	30
11	Estimación de la captura de CO ₂ por bosques	31
12	Estimación de la captura de CO ₂ por pasturas	31
13	Estimación de la captura de CO ₂ por bancos forrajeros	32
14	Estimación de la captura de CO ₂ por parte del suelo	32
15	Balance de CO ₂	32
16	Consumo de MS del ganado en crecimiento y engorde	33
17	Consumo de MS del ganado adulto	34
18	Cálculo de la ingesta de Energía Bruta por animal	34
19	Estimación de la emisión de CH ₄ según consumo de materia seca	35
20	Consumo de MS de ganado en crecimiento y engorde	36
21	Consumo de MS para los animales adultos	36
22	Ingesta de energía bruta por animal	36
23	Emisión de CH ₄ a partir de la ingesta de energía bruta	37
24	Emisión de CH ₄ a partir del consumo de Materia Seca	37
25	Ecuación alométrica para estimar la biomasa arriba del suelo de cercas vivas	91
26	Ecuación alométrica para estimar la biomasa arriba del suelo de bosques secundarios	92

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	TÍTULO	PÁGINA
1	Encuesta	128
2	Análisis químico y contenido materia orgánica del suelo de la finca La Dibujada	132
3	Análisis químico y contenido materia orgánica del suelo de la finca San Antonio	132
4	Análisis químico y contenido materia orgánica del suelo de la finca Térraba	133
5	Composición nutricional y producción de forraje de la caña de azúcar (<i>S. officinarum</i>)	134
6	Composición nutricional y producción de forraje del botón de oro (<i>T. diversifolia</i>)	135
7	Composición nutricional y producción de forraje de la cratylia (<i>C. argentea</i>)	136
8	Composición nutricional y producción de forraje del camerún (<i>P. purpureum</i>)	137
9	Composición nutricional y producción de forraje del pasto brizantha (<i>B. brizantha</i>)	138
10	Cálculo para estimar la dosis de cal basados en % de saturación de acidez o Aluminio	138
11	Hoja electrónica de cálculo de las emisiones, captura y balance de CO ₂ en ganadería	138

RESUMEN

Se estimó el balance de CO₂ en tres fincas dedicadas a la ganadería de carne en la zona Sur de Costa Rica en los cantones de Pérez Zeledón y Buenos Aires, mediante la técnica descrita por el IPCC (2006), en donde se estima la emisión de gases de efecto invernadero por medio de factores de emisión y la captura de dióxido de carbono por medio de ecuaciones que estiman la biomasa aérea de las diferentes fuentes de captura. Las tres fincas evaluadas son consideradas almacenadoras netas de CO₂ atmosférico, ya que obtuvieron un balance de gases de efecto invernadero positivo en 446,97, 787,55 y 645,39 t de CO₂-eq/año, para las fincas La Dibujada, San Antonio y Terraba respectivamente. La mayor emisión de metano al año en las fincas fue ocasionada por la fermentación entérica realizada por el ganado con 76,25% en promedio y la mayor cantidad de CO₂ al año fue capturada por la biomasa aérea de las pasturas con un promedio de 45,74%, sin embargo se evidenció que los bosques secundarios presentes en las fincas son fuentes importantes en el secuestro de carbono, con aportes promedios de 23,80%. Al comparar los valores obtenidos por medio de ecuaciones para el cálculo de biomasa aérea de bosques secundarios en el trópico con los valores por defecto sugeridos por el IPCC, se obtuvo que el promedio obtenido para biomasa (344,01 t de MS/ha) es similar al establecido por el IPCC (300 t de MS/ha). Además se estimó la emisión de metano por medio de tres modelos diferentes de cálculo, los resultados obtenidos muestran que las diferencias entre ellos son mínimas. En conclusión, en los tres sistemas productivos dedicados a la cría de ganado en la zona Sur el factor animal es el principal productor de la emisión de metano, sin embargo mediante la conservación del bosque y el establecimiento de sistemas silvopastoriles permite que posean balances de gases de efecto invernadero positivos, es decir exista una mayor captura de GEI que emisión de los mismos.

1 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.1 SITUACIÓN MUNDIAL

El cambio climático es un problema de carácter global debido a las consecuencias que conlleva tanto a nivel ambiental como socioeconómico (Stern 2007). A nivel ambiental, desde la década de 1950, los niveles de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI) incrementaron en la atmósfera, de igual manera la temperatura del aire y del océano aumentó en 0,11°C por decenio, asimismo el nivel del mar creció debido al deshielo de nieves e hielos (IPCC 2013).

Estos cambios a nivel socioeconómico podrían causar riesgos para la viabilidad del progreso económico, del bienestar y de la salud (Stern 2007). Esto se debe a que los esfuerzos necesarios para adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, controlar y reducir las emisiones de GEI implican costos económicos y modificaciones en los flujos comerciales y financieros internacionales y en los estilos de vida de la población (ONU 2010). Según Stern (2007) los costos globales y los riesgos del cambio climático ocasionarán a la pérdida de al menos 5% del PIB global anual.

El cambio climático es propiciado por el incremento en las emisiones mundiales de GEI, debido al aumento de las actividades humanas desde la era preindustrial (IPCC 2013). En el año 2013, las concentraciones atmosféricas mundiales de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) registraron 396 partes por millón (ppm), 1824 partes por billón (ppb) y 325,9 ppb, respectivamente, valores que exceden los niveles preindustriales en 142%, 253% y 121% respectivamente (OMM 2014).

El CO₂ es el GEI antropógeno más importante, entre 1970 y 2004, las emisiones anuales de este gas aumentaron en 80%, pasando de 21 a 38 gigatoneladas (Gt), y en 2004 representó 77% de las emisiones totales de GEI antropógenos (IPCC 2007). Las fuentes de emisión globales para el año 2004 se muestran en el Figura 1.

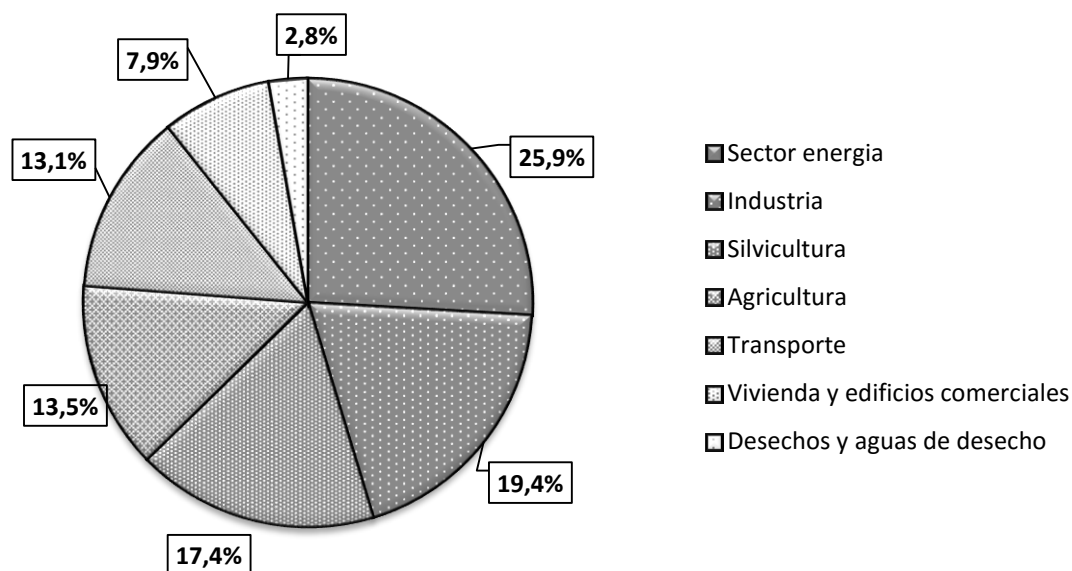


Figura 1. Fuentes de emisión de CO₂ globales para el año 2004
Fuente: IPCC (2007)

1.1.1 Sector agropecuario

Según Gerber et ál. (2013) en el año 2005 el total de las emisiones antropógenas fue de 49 Gt de CO₂-eq, el sector agropecuario contribuyó con 14,5% de las emisiones de GEI causadas por el ser humano, se estima que el total de emisiones de GEI provenientes de las cadenas de suministro ganadero es de 7,1 Gt de CO₂-eq/año, el aporte de cada GEI se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Emisión de gases de efecto invernadero en Gt de CO₂-eq/año del sector ganadero y el aporte de cada una de las emisiones antropogénicas mundiales totales (%).

Gases de efecto invernadero	Emisión (Gt CO ₂ -eq/año)	Emisión antropógenas total (%)
CO ₂	2	5% de emisiones de CO ₂ antropogénicas
CH ₄	3,1	44% de emisiones de CH ₄ antropogénicas
N ₂ O	2	53% de las emisiones de N ₂ O antropogénicas
Total	7,1	

Fuente: Gerber et ál. (2013)

La mayor parte de las emisiones corresponden a las emisiones de CH₄, ya que el 44% de las emisiones del sector corresponde a este gas, mientras que N₂O aporta 29% y el CO₂ 27% de las emisiones (Gerber et ál. 2013).

1.1.2 Fuentes de emisión del sector agropecuario

Las actividades agrícolas y ganaderas contribuyen de manera directa a la emisión de gases de efecto invernadero a través de una serie de procesos (Henning et ál. 2009). En el caso de la ganadería, ésta contribuye a la emisión de metano, por medio de la fermentación entérica y las excreciones de los animales; y a la emisión de óxido nitroso a través de las excretas de los animales, las forrajeras fijadoras de nitrógeno y el manejo de las pasturas (Berra y Finster 2002).

Las emisiones provenientes de la producción, elaboración y transporte de materias primas, alimentos balanceados y fertilizantes representan alrededor del 46% de las emisiones del sector, el aporte de cada subcategoría se muestra en la Figura 2. La fermentación entérica es la segunda fuente principal de emisiones, los vacunos emiten la mayor parte del CH₄ entérico (77%), seguidos por los búfalos (13%) y los pequeños rumiantes (10%) (Gerber et ál. 2013).

Las emisiones de CH₄ y N₂O derivadas del almacenamiento y elaboración del estiércol (sin incluir la aplicación y el depósito) representan alrededor 10% de las emisiones del sector (Henning et ál. 2009). Las emisiones asociadas al consumo de energía (de forma directa o indirecta con los combustibles fósiles) se deben a la producción de alimentos balanceados y a la fabricación de fertilizantes, de manera que el consumo de energía a lo largo de la cadena de suministro del sector contribuye con 20% del total de las emisiones del sector (Figura 2) (Gerber et ál. 2013).

Dentro de la categoría de emisiones procedentes del CH₄, el ganado vacuno es el principal generador de emisiones del sector con 4,6 Gt de CO₂-eq, que representan el 65% de las emisiones provenientes de las actividades pecuarias (Gerber et ál. 2013).

La carne de vacuno contribuye con 2,9 Gt de CO₂-eq, este valor corresponde al 41% de las emisiones totales del sector, mientras que la leche de vaca contribuye con 1,4 Gt de CO₂-eq que equivale al 20%. Los cerdos, las aves de corral, los búfalos y los pequeños rumiantes tienen niveles de emisión bajos, que representan, cada uno, entre el 7% y el 10% de las emisiones del sector (Henning et ál. 2009).

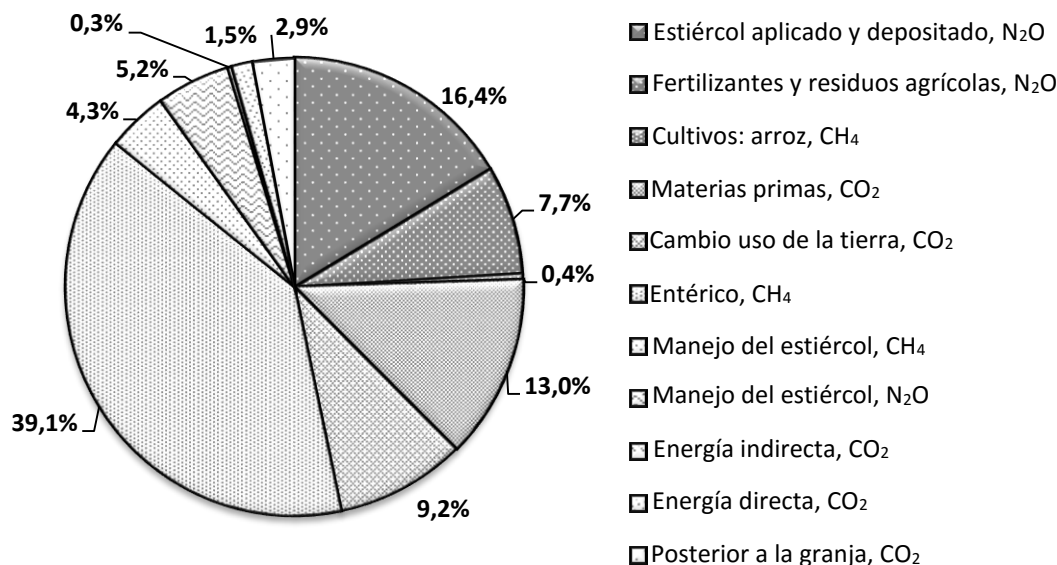


Figura 2. Emisiones globales de las cadenas de suministro ganadero por categoría de emisiones
Fuente: Gerber et ál. (2013).

1.2 SITUACIÓN EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

En América Latina y el Caribe las actividades antropogénicas contribuyen con el 12% del total mundial de emisiones, lo que corresponde a 5,4 Gt CO₂-eq, además, en el último estudio de GEI realizado por la ONU en el año 2010, se describe un ritmo de crecimiento en las emisiones similar a la media mundial con 1,19% entre 1990 y 2005 (ONU 2010).

Las fuentes de emisión originadas en el cambio de uso del suelo representan casi la mitad del total regional, mientras que el sector energético participó con el 28% y la agricultura con el 20% (ONU 2010). La emisión por fuentes provenientes de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra en esta región es de 2,8 Gt de CO₂-eq en el 2010 (FAO 2014).

Sin embargo, esta región es un sumidero de carbono¹, ya que se calcula que posee entre 18% y 26% del total mundial de carbono de los ecosistemas boscosos, 11% del contenido en los pastizales y 17% del correspondiente a los ecosistemas agrícolas, sin embargo, debido a un inadecuado manejo de los recursos naturales se evidencia una constante degradación de los mismos (ONU 2010). La absorción total por los sumideros de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra se cuantificó 0,44 Gt de CO₂-eq en el año 2010 (FAO 2014).

1. Deposito natural o artificial de carbono, que absorbe el carbono de la atmósfera y reduce el CO₂ del aire

Con respecto a las emisiones de GEI del sector agropecuario, América Latina y el Caribe obtienen el segundo lugar de emisión con un aporte del 17%, que corresponde a 0,9 Gt CO₂-eq para el año 2010, las emisiones procedentes de fermentación entérica y el estiércol contribuyeron con el 88% del total, el aporte de cada fuente de emisión se muestra en la Figura 3 (FAO 2014).

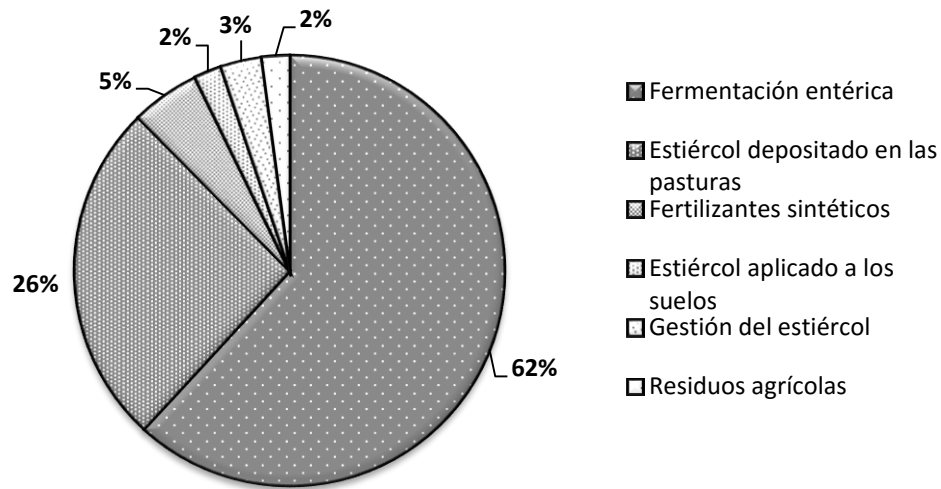


Figura 3. Fuentes de emisión GEI de procedentes del sector agropecuario de América Latina y el Caribe para el periodo 2001-2010
Fuente: FAO (2015)

1.3 SITUACIÓN NACIONAL

En Costa Rica el sector agropecuario es la segunda actividad productiva emisora de GEI después del sector energético. Es responsable del 37% de las emisiones nacionales de las cuales la ganadería representa el 82% (MINAE et ál. 2013). En la Figura 4, se describe la tendencia registrada de las emisiones de GEI de este sector en Costa Rica durante el periodo 2002-2012.

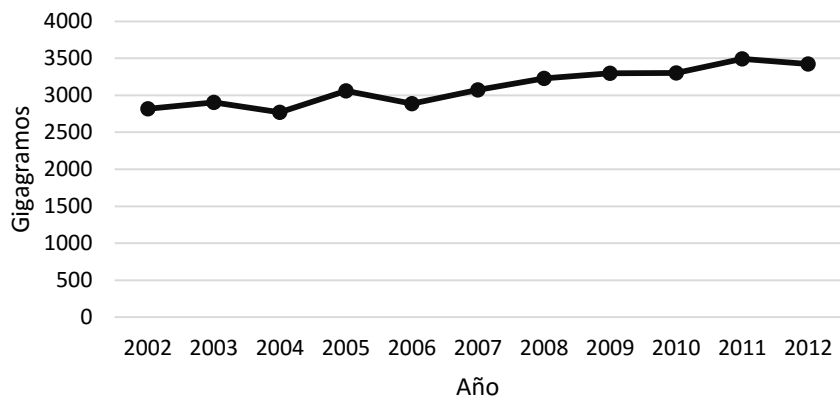


Figura 4. Emisión de CO₂-eq del sector agropecuario en Costa Rica periodo 2002-2012

Fuente: FAO (2015)

1.3.1 Fuentes de emisión

El mayor aporte de las emisiones del sector agropecuario es a través de la fermentación entérica, el manejo del estiércol y los fertilizantes (FAO 2015), en la Figura 5 se muestra el aporte de cada fuente de emisión, donde la fermentación entérica supera en 1,6 veces a la sumatoria de las otras fuentes de emisión descritas.

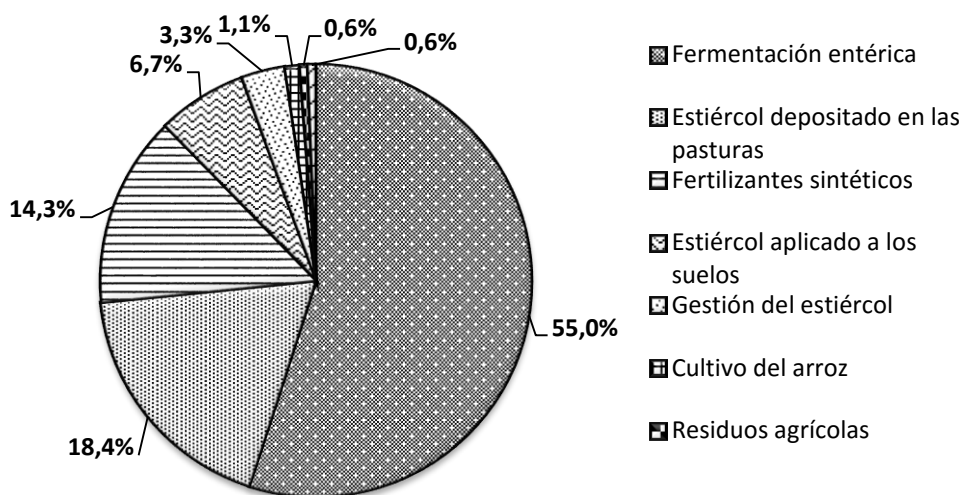


Figura 5. Fuentes de emisión del sector agropecuario en Costa Rica en el periodo 2002-2012

Fuente: FAO (2015).

Con respecto a la emisión de metano, la mayor cantidad de este gas se genera en el sistema de producción de carne (40%) y doble propósito (36%) debido a que es donde se encuentra la mayor población de bovinos (IMN y MINAE 2014). El Cuadro 2 muestra la emisión de metano según el sistema de producción.

Cuadro 2. Emisión de metano (Gg CO₂-eq) por fermentación entérica y manejo del estiércol de ganado bovino en Costa Rica para el año 2010

Sistema de producción	Población (cabezas)	Emisión de metano (Gg* CO ₂ -eq)	
		Fermentación entérica**	Manejo del estiércol**
Leche	357.533,00	463,89	6,93
Carne	584.568,00	758,73	12,26
Doble propósito	565.006,00	697,41	11,87
Total	1.507.107,00	1920,03	31,35

*gigagramos=mil toneladas métricas, ** Calculado mediante las ecuaciones del IPCC 2006

Fuente: Chacón et ál. (2010)

La emisión de óxido nitroso derivado del suelo cubierto por diferentes pasturas es de 212,97 Gg CO₂-eq (Chacón et ál. 2010), el aporte de las emisiones de diferentes pastos se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Emisión de óxido nitroso (Gg CO₂-eq) de diferentes tipos de pastos en Costa Rica para el año 2010

Pasto	Área estimada (ha)	Factor de emisión (kg/ha/año)	Emisión de N ₂ O (Gg* CO ₂ -eq)
Naturales	466.454,00	0,51	74,40
Estrella	138.659,00	0,70	30,38
Kikuyo	25.000,00	1,13	8,68
Brachiarias	350.000,00	0,53	57,97
Otros mejorados	285.000,00	0,47	41,54
Total	1.265.113,00		212,97

*gigagramos=mil toneladas métricas, ** Calculado mediante las ecuaciones del IPCC 2006

Fuente: Chacón et ál. (2010)

1.3.2 Fuentes de captura de carbono

Según el inventario nacional de GEI realizado en el año 2010 el sector de Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra presenta una absorción total de CO₂ de 5 255,18 Gg (Chacón et ál. 2010), sin embargo según FAO (2015) la absorción de CO₂ para este sector corresponde alrededor de 7 600 Gg.

En un estudio realizado por el CATIE y MAG (2010) en 16 fincas ganaderas de la región Chorotega de Costa Rica se encontró que la mayor captura de carbono en el suelo corresponde al banco forrajero de gramíneas (especies de gramíneas para el corte y acarreo) y por bosque secundario, seguido por plantaciones forestales, mientras que las pasturas y bancos forrajeros de leñosas capturan en menor medida (CATIE y MAG 2010). En el Cuadro 4, se muestra el potencial de diferentes coberturas del país para almacenar carbono, según las condiciones propias de cada sistema, en el país.

Cuadro 4. Captura de carbono (t C/ha/año) de diferentes usos de la tierra en Costa Rica

Uso de la tierra	Tasa de captura de carbono (t C/ha/año)
Bosque secundario	3,89
Plantaciones forestales	3,21
Pastura degradada	-0,29**
Pastura Mejorada ADA*	1,34
Pastura Mejorada BDA*	0,91
Pastura Mejorada SA*	0,7
Banco Forrajero Gramínea	4,64
Banco Forrajero Leñosa	1,37

* ADA= alta densidad de árboles (>30 árboles/ha), BDA= baja densidad de árboles (<30 árboles/ha), SA= sin árboles. Pastura degradada= área con suelos lavados, deslizados, cárcava y donde predominan las malezas. ** Emisión de carbono

Fuente: CATIE y MAG (2010).

1.4 CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

A nivel mundial, el continuo aumento de las emisiones de GEI podría provocar durante el siglo XXI numerosos cambios al sistema climático mundial (IPCC 2007). Los científicos estiman que la temperatura media de la Tierra podría incrementarse en 1,4 y 5,8 °C para el año 2100 (Henning et ál. 2009).

En América Latina se prevé una sustitución gradual de los bosques tropicales por sabanas en el este de la Amazonia, la vegetación semiárida podría ser sustituida por vegetación de tierras áridas, además podrían ocurrir pérdidas de diversidad biológica importantes con la extinción de especies en diferentes áreas de América Latina (IPCC 2013).

Entre otros riesgos se encuentra la baja disponibilidad de los recursos hídricos, incremento de los incendios forestales, mermas en la productividad agrícola, efectos negativos sobre la salud, daños en zonas costeras por aumento del nivel del mar, afectaciones al intercambio comercial y al turismo (ONU 2010).

Costa Rica no se encuentra aislada del impacto del cambio climático, según Alvarado et ál. (2012) se espera que para el 2080 la temperatura media anual aumente en 3,0 °C, así como pocas precipitaciones en la Vertiente del Pacífico e intensas lluvias en la Vertiente del Caribe.

También se verá afectado el recurso hídrico tanto para consumo humano como para producción de energía, las alteraciones climáticas favorecerán las condiciones reproductivas de insectos vectores de enfermedades como el dengue y la malaria, lo que afectaría la salud de la población (Arguedas 2012).

1.5 ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN

En Costa Rica se implementan políticas, tecnologías y medidas para reducir las emisiones de GEI, en la actualidad existe la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), la cual se basa en tres sub-ejes: la reducción de emisiones de GEI por fuente, la captura y almacenamiento de CO₂ y el desarrollo de un mercado de carbono nacional (IMN y MINAE 2014).

Entre los proyectos que se desarrollan para mitigar el Cambio Climático se encuentra el compromiso que se asumió en 2007 de ser Carbono Neutral para el 2021, por medio de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y en el 2012 el país oficializó el Programa País Carbono Neutralidad, además en el 2014 se ejecutó el proyecto Partnership for Market Readiness (PMR), el cual busca instrumentos de mercado que apoyen la reducción de GEI (IMN y MINAE 2014). También cuenta con políticas de conservación de bosque, parques nacionales y pago por servicios ambientales (Pratt et ál. 2010).

El sector agropecuario forma parte de la Estrategia Nacional de Cambio Climático de Costa Rica, en la actualidad cuenta con la Política de Estado para el Sector Agropecuario y Desarrollo Rural Costarricense 2010-2021, el Plan de acción para Cambio Climático y Gestión Agroambiental 2011-2014 (Zamora

2013), y en desarrollo se encuentra una Estrategia Ganadera de Desarrollo Bajo en Carbono (LCDS, por las siglas en inglés de Low Carbon Development Strategy) en conjunto con el sector privado, así como la creación de la Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada (NAMAs, por las siglas en inglés de Nationally Appropriate Mitigation Actions) (MINAE et ál. 2013).

El NAMA Ganadería tiene definidas las siguientes metas:

Planes de fertilización mejorados: el uso de fertilizantes es una fuente importante de emisiones GEI en las fincas lecheras, por lo cual se debe contribuir a la aplicación de estos de manera eficiente e implementar otras estrategias como fertilizantes orgánicos, purines o nuevas tecnologías como el uso de fertilizantes de lenta liberación (MINAE et ál. 2013).

Rotación de apartos y/o cercas vivas: la separación de las fincas ganaderas para permitir la rotación de ganado entre espacios al menos cada dos o tres días permite que los pastos crezcan más saludables, y que los suelos capturen más carbono (Saalfeld 2013). Además, se puede separar los apartos con cercas vivas, lo que permite que los árboles que las componen sean también una fuente de captura de carbono (IMN y MINAE 2014).

Mejora de pasturas: mediante la mejora de las especies de pastos, más carbono es capturado por los pastos y los suelos al poseer raíces más grandes, además las dietas del ganado mejoran, lo que permite reducir la fermentación entérica, aumentar la productividad y aumentar las tasas de reproducción (Saalfeld 2013).

Sistemas silvopastoriles: estos implican la plantación de árboles dispersos en las zonas de pastoreo para proporcionar sombra para el ganado y capturar carbono (Zamora 2013). Los árboles al alcanzar la vida útil, son utilizados por los agricultores para otros fines, por lo tanto nuevos árboles deben ser sembrados después de ciertos períodos de tiempo para asegurar la captura de carbono y la presencia de sombra (IMN y MINAE 2014). Otras medidas como la Gestión de Excretas y Genética no fueron incluidas en el NAMA debido a las brechas y barreras comparativas a pesar de su potencial de transformación (IMN y MINAE 2014).

Además, según Chase (2016) la mejora de la selección genética, suministrar una alimentación de precisión, mejorar la salud animal y reducir la mortalidad, así como adicionar lípidos, ionóforos y compuestos bioactivos de las plantas en las dietas de los animales incrementa la productividad y la eficiencia de los animales, la cual es la mejor vía de reducir las emisiones.

En Costa Rica existen estudios sobre la emisión de gases de efecto invernadero y la captura de CO₂ como los realizados por CATIE y MAG (2010), Arguedas (2012) y Chacón et ál. (2010) entre otros, los cuales muestran datos sobre el balance de GEI a nivel nacional, en la región Chorotega y a nivel de instituciones, sin embargo surge la necesidad de estimar las emisiones de CO₂ y la captura de CO₂ en la ganadería de carne en la zona sur de Costa Rica. Con el fin de conocer si las fincas ganaderas en esta región son emisoras o almacenadoras netas de CO₂, además de conocer cual componente influye de forma negativa o positiva en el balance. En el caso de fincas emisoras se deberán tomar las medidas necesarias para producir sistemas de ganadería de carne baja en emisiones de gases de efecto invernadero, mientras las que funcionan como sumideros de CO₂ atmosférico tendrán el potencial para comercializar los depósitos en el mercado ya sea nacional o internacional como oferentes de servicios ambientales.

2 ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

2.1 Cambio climático

El cambio climático se define como el cambio del clima atribuible de forma directa o indirecta a la actividad humana, la cual altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (IPCC 2007).

2.2 Gases de efecto invernadero (GEI)

Un gas de efecto invernadero es aquel que atrapa la radiación infrarroja (calor) en la atmósfera (Berra y Finster 2002). Los GEI se originan tanto por procesos naturales como por diversas actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, procesos industriales, la agricultura, la deforestación y el cambio en el uso del suelo (Stern, 2007). Existe cuatro GEI principales: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y los halocarbonos (grupo de gases que contienen flúor, cloro y bromo) (Forster et ál. 2007).

2.3 Forzamiento radiativo

Existe un balance de energía entre el sistema Tierra-atmósfera, es decir un equilibrio entre la radiación solar entrante y la radiación infrarroja saliente dentro de la atmósfera de la Tierra, este balance radiativo es el que controla la temperatura de la superficie de la Tierra (Ramaswamy et ál. 2001).

El término forzamiento se utiliza para indicar un cambio en el estado normal del balance radiativo de la Tierra, cuando el forzamiento radiativo se evalúa como

positivo, la energía del sistema Tierra-atmósfera aumentará, lo que ocasiona a un calentamiento del sistema (Forster et ál. 2007).

Los GEI difieren en el forzamiento radiativo que ejercen sobre el sistema climático mundial, debido a sus diferentes propiedades radiativas y períodos de permanencia en la atmósfera (IPCC 2007).

2.4 Emisión de CO₂-equivalente

Según la Oficina Catalana del Cambio Climático (2011) el CO₂-equivalente es la cantidad de emisión de CO₂ que ocasiona el mismo forzamiento radiativo que una cantidad emitida de un GEI o de una mezcla de GEI.

Para un GEI, las emisiones de CO₂-equivalente se obtienen multiplicando la cantidad de GEI emitida por el potencial de calentamiento global (PCG) y para una mezcla de GEI, se obtienen sumando las emisiones de CO₂-equivalente de cada uno de los gases (Cuadro 5).

Cuadro 5. Potencial de Calentamiento Global (PCG) de tres gases de efecto invernadero

GEI	PCG
Dióxido de carbono	1
Metano	21
Óxido nitroso	310

Fuente: IPCC (2006)

Las emisiones de CO₂-equivalente constituyen un valor de referencia y una métrica útil para comparar emisiones de GEI diferentes, pero no implican respuestas idénticas al cambio climático, estas emisiones se expresan por lo general en Gt CO₂-equivalentes (Gt=10⁹ toneladas) (IPCC 2007).

2.5 Emisiones de GEI provenientes de la ganadería

2.5.1 Emisiones de CH₄ provenientes de la fermentación entérica

Los rumiantes producen CH₄ durante la fermentación de los alimentos en el rumen, este gas se emite como subproducto de la fermentación microbiana de los hidratos de carbono (González y Carlsson-kanyama 2007). Esta fermentación

produce hidrógeno, el cual es utilizado por las bacterias metanogénicas para reducir el carbono del CO_2 a CH_4 (Cambra et ál. 2008). El CH_4 producido durante la fermentación representa una pérdida en la energía producida por el animal, está pérdida de energía ronda entre 2% a 12% (Beauchemin y McGinn 2005).

La emisión de CH_4 depende de factores intrínsecos del animal (peso, edad y especie), así como extrínsecos relacionados con el alimento (composición e ingestión) (Cambra et ál. 2008). Los animales más jóvenes presentan tasas de conversión de CH_4 menores que los animales adultos, debido al menor número y actividad de microorganismos ruminales encargados de la fermentación (Cambra et ál. 2008).

En cuanto a los factores relacionados con el alimento, la producción de CH_4 depende de la cantidad y calidad de éste, la cantidad de CH_4 liberado aumenta con la cantidad de alimento ingerido, aunque la tasa de producción de CH_4 por kilogramo de alimento consumido puede disminuir al aumentar el nivel de alimentación (Broucek 2014). Esto se debe a que al aumentar la ingestión de materia seca se acelera el paso del alimento por el aparato digestivo, lo que disminuye el tiempo disponible para la fermentación ruminal (Hindrichsen et ál. 2006).

Las raciones menos digeribles generan emisiones elevadas de CH_4 por unidad de energía ingerida (Berra y Finster 2002), mientras que las dietas con concentraciones altas en carbohidratos producen menos cantidades de CH_4 (Ramin y Huhtanen 2013), esto se debe a que dietas más digeribles producen ácido propiónico en lugar de ácido acético, para la síntesis de ácido propiónico se utiliza más H_2 y por tanto queda menos H_2 disponible para la producción CH_4 (Cambra et ál. 2008).

Asimismo según Broucek (2014) al incrementar el contenido de proteína en la dieta se disminuye la producción CH_4 , así como el uso de suplementos de grasas reducen la producción de CH_4 (Chung et ál. 2011). Además los sistemas de engorde intensivo producen menos emisiones de CH_4 por unidad de carne producida, en comparación con sistemas de pastoreo extensivo, ya que la tasa de crecimiento es más rápido y el tiempo de comercialización es menor (Clemens y Ahlgrimm 2001). Lo que significa que en un sistema extensivo el animal alcanza un peso de mercado en un tiempo más prolongado por lo que la emisión de CH_4 es mayor al dividir la emisión entre el peso alcanzado (emisión de CH_4 por kilogramo de carne producida)

Según Beauchemin et ál. (2011) los bovinos de carne en crecimiento alimentados con forrajes en sistemas extensivos emiten más GEI (aumento de

6,5%) que en sistemas intensivos. De igual manera, Pelletier et ál. (2010) observaron que las emisiones totales de los GEI de bovinos de carne en fase de finalización en sistemas de pastoreo extensivo fueron 30% más altas que aquellas donde el ganado consume raciones a base de cereales en corrales de engorde.

2.5.2 Emisiones de CH₄ y N₂O provenientes de la gestión del estiércol

El estiércol contiene dos componentes químicos que pueden producir emisiones de GEI durante el almacenamiento y la elaboración: la materia orgánica que se puede convertir en CH₄ y el nitrógeno que producen emisiones de N₂O (Gerber et ál. 2013). El CH₄ se produce a partir de la descomposición anaerobia del material orgánico, esto ocurre cuando se maneja estiércol en forma líquida, como en las lagunas profundas o tanques de conservación (González y Carlsson-Kanyama 2007).

El N₂O se produce a través de la desnitrificación del nitrógeno orgánico presente en el estiércol y en la orina del ganado, esto ocurre cuando el estiércol se maneja en sistemas líquidos o si se recolecta y almacena en forma sólida (Berra y Finster 2002). Durante el almacenamiento el nitrógeno se libera en mayor parte en la atmósfera como amoníaco (NH₃) para luego transformarse en N₂O (emisiones indirectas) (Gerber et ál. 2013).

2.5.3 Emisiones de CO₂ y N₂O provenientes de la producción, elaboración y transporte de materias primas, pastos y fertilizantes

Las emisiones de CO₂ que provienen del crecimiento de los pastos se deben a la transformación de bosques en pastizales, esto ocasiona la oxidación del carbono en el suelo y la vegetación (Gerber et ál. 2013), debido a que los pastos nativos tienen rendimientos productivos menores que la especies mejoradas, además ofrecen escasa protección al suelo y absorben menos carbono que los bosques (FAO 2008). También se derivan de la utilización de combustibles fósiles para la fabricación de fertilizantes, elaboración y transporte de materias primas (Berra y Finster 2002).

Las emisiones de N₂O se originan a partir del uso de fertilizantes (orgánico o inorgánico) para la producción de pastos y del depósito directo del estiércol sobre los pastos o durante el manejo del estiércol y su aplicación a los campos de cultivo (González y Carlsson-Kanyama 2007).

2.5.4 Emisiones de CO₂ provenientes del consumo de energía

El consumo de energía ocurre a lo largo de todas las cadenas de suministro ganadero que producen emisiones de CO₂. En la producción de materias primas,

el consumo de energía se debe a la producción de fertilizantes y al empleo de maquinaria en el manejo, recolección, elaboración y transporte de las mismas.

También se consume energía en la unidad de producción animal, ya sea de forma directa mediante las operaciones mecanizadas, o indirecta en la construcción de los edificios y la fabricación de equipos. Además, la elaboración y transporte de productos básicos pecuarios ocasiona un consumo de energía adicional (Gerber et ál. 2013).

2.6 Estimación de las emisiones en ganadería de carne

2.6.1 Identificación de las fuentes

Para realizar el cálculo de las emisiones de GEI en la ganadería de carne es necesario identificar las fuentes de emisión, entre ellas se incluye la preparación del terreno para el establecimiento de los forrajes; el tipo de pastoreo y dieta usada; la fertilización de los forrajes; el transporte y uso de alimentos balanceados; la fisiología de los animales (fermentación entérica) y la gestión de las excretas (Vallejo et ál. 2013).

2.6.2 Recolección de datos

Una vez identificadas las fuentes de emisión de la actividad de la producción pecuaria, se debe realizar un mapeo de los departamentos o personas clave dentro de la empresa que manejan o facilitan el acceso a dicha información, después se debe establecer un sistema de gestión de información sencillo, completo y accesible, donde puedan consolidarse las bases de datos de todos los inventarios (rubros de emisión) de GEI identificados para la actividad pecuaria (Vallejo et ál. 2013).

2.6.3 Cálculo de emisiones

Existen diversos métodos de estimación de las emisiones como la medición directa, el cálculo estequiométrico y las emisiones estimadas (Vallejo et ál. 2013). Para el caso de las emisiones estimadas se utilizan las ecuaciones que se muestran el Cuadro 6.

Cuadro 6. Ecuaciones para estimar las emisiones de CO₂-eq en las fincas ganaderas dedicadas a la producción de carne

Tipo de gas	Origen	Ecuación
CH ₄	Fermentación entérica	$E = \frac{PTPA \cdot PCG_{CH_4}}{1000}$
CH ₄	Producción de excretas	$E = \frac{PT \cdot FE_{CH_4} \cdot PCG_{CH_4}}{1000}$
N ₂ O	Producción de excretas	$E = \frac{PT \cdot TE_N \cdot FE_{N_2O} \cdot PCG_{N_2O}}{1000}$
N ₂ O	Fertilización de pasturas (emisiones directas)	$E = \frac{CT_F \cdot CN_F \cdot R \cdot FEN \cdot PCG_{N_2O}}{1000}$
CO ₂	Combustible	$E = CTC \cdot FE_{CO_2} \cdot PCG_{CO_2}$
CO ₂	Electricidad	$E = CTE \cdot FE_{CO_2} \cdot PCG_{CO_2}$

E= Emisiones (t de CO₂-eq), PT= Población Total, PTPA= Población Total Promedio Anual, FE= Factor de emisión (Kg GEI/cabezas/año), PCG= Potencial de Calentamiento Global, TE= Tasa de Excreción (kg N/1000 kg masa animal/día), CT_F= Cantidad Total de fertilizante aplicado en las pasturas, CN_F= Cantidad de Nitrógeno que contiene el fertilizante sintético, FEN=Factor de emisión para N₂O en las aplicaciones de N (kg N₂O-N /kg N), R= relación 44 / 28 (conversión de emisiones de N₂O-N en emisiones de N₂O), CTC= Consumo total de combustible (lts), CTE= Consumo total de Electricidad (kWh)

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos por Vallejo et ál. (2013), IPCC (2006)

Para realizar el cálculo adecuado de las emisiones es necesario calcular la Población Total Promedio Anual (PTPA), este dato se obtiene mediante la ecuación que se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Cálculo de la población total promedio anual (PTPA)

Parámetro	Ecuación
PTPA	$\sum CA_c \cdot FE_c$

CA_c=Cantidad de animales de cada categoría, FE_c=Factor de emisión de cada categoría

Fuente: Vallejo et ál. (2013).

Asimismo, como la cantidad emitida de metano entérico proveniente de la fermentación entérica y la producción de excretas depende del tipo de animal es necesario conocer el factor de emisión para cada una de las categorías animal que se pueden encontrar en una finca dedicada al engorde de ganado. En el Cuadro 8 y 9 se muestra cada uno de los factores de emisión según la categoría animal por fermentación entérica y producción de excretas.

Cuadro 8. Factores de emisión de metano por fermentación entérica según la categoría animal en los diferentes sistemas de producción bovina (Kg CH₄/cabeza/año)

Categoría	Factor Emisión	Factor Emisión Leche	Factor Emisión
	Carne	Kg CH ₄ /cabeza/año	
Terneros	19,48	20,00	16,81
Hembra crecimiento	63,61	48,69	41,91
Macho crecimiento	66,25		70,16
Hembra adulta	85,80	85,00	85,67
Macho adulto	111,70	111,70	111,70
Caballos	18		
Búfalos	55		

Fuente: IMN (2016)

Cuadro 9. Factores de emisión de metano (Kg CH₄/cabezas/año) para cada especie animal por la producción de excretas

Especie	Factor de Emisión (Kg CH ₄ /cabezas/año)
Bovinos	1
Búfalos	2
Caballos	1,64
Cabras	0,17
Cerdos	1
Aves de corral	0,02

Fuente: IMN (2016)

De igual manera se debe conocer el factor de emisión de óxido nitroso para cada especie animal por la producción de excretas, ya que este varía según la especie animal. En el Cuadro 10 se muestra el factor de emisión para cada especie animal.

Cuadro 10. Factor de emisión de óxido nitroso (kg/ N₂O-N animal/año) para cada especie animal por la producción de excretas

Especie	Tasa de excreción de N (kg N/1000 kg masa animal/día)	Factor de emisión (kg/ N₂O-N animal/año)
Bovinos	0,36	0,02
Cerdos	1,64	0,02
Pollos de engorde	1,10	0,02
Búfalos	0,32	0,02
Ovejas	1,17	0,01
Cabras	1,37	0,01

Fuente: IMN (2016)

Además la producción de dióxido de carbono producido depende del tipo de combustible que se utiliza, en el Cuadro 11 se muestra la producción de CO₂ según el tipo de combustible.

Cuadro 11. Producción de dióxido de carbono (kg CO₂-eq/litro combustible) por tipo de combustible

Combustible	kg CO₂-eq/litro
Gasolina	2,26
Diésel	2,69
Búnker	3,01
Queroseno	2,48
GLP*	1,61
Gasolina de aviación	2,69
Jet fuel	2,46

*Gas licuado del petróleo

Fuente: IMN (2016)

En el Cuadro 12 se muestra el factor de emisión del consumo eléctrico para Costa Rica según el año en curso.

Cuadro 12. Factor de emisión del consumo eléctrico (kg CO₂-eq/kWh) para Costa Rica para el periodo 2008-2013

Año	Factor de emisión (kg CO₂-eq/kWh)
2015	0,0381
2014	0,1170
2013	0,1300
2012	0,0771
2011	0,0824
2010	0,0570

Fuente: IMN (2016)

2.7 Captura de carbono

Las fincas ganaderas pueden secuestrar carbono mediante sistemas agroforestales, a través de la inserción de árboles aislados en potreros, el establecimiento de cercas vivas y el de pasturas mejoradas, así como incentivar la regeneración natural de la vegetación y la conservación de los bosques (Beer et ál. 2003).

Los sistemas forestales y agroforestales captan carbono en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo, hojarasca, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo (COS), sin embargo los principales componentes de almacenamiento de carbono son el carbono orgánico del suelo (COS) y la biomasa sobre el suelo (Ibrahim et ál. 2007).

2.7.1 Biomasa sobre el suelo

La biomasa sobre el suelo en sistemas silvopastoriles se divide en biomasa leñosa y biomasa herbácea (Snowdon et ál. 2002). La biomasa de la vegetación leñosa se define como la cantidad total de material orgánico vivo que existe arriba del suelo, incluye hojas, varas, ramas, fuste y corteza y es expresada como toneladas de peso seco por unidad de área (Brown 1997).

La biomasa herbácea de los sistemas silvopastoriles está constituida por las pasturas, leguminosas, hierbas y otros (Andrade e Ibrahim 2003). La biomasa herbácea puede cuantificarse mediante marcos de muestreo (50 x 50 cm), los cuales se ubican en los sitios de muestreo, se corta el material herbáceo que se encuentre dentro de él y se pesa en fresco, se toma una submuestra de alrededor de 200 g para determinar el contenido de materia seca en el laboratorio (Andrade e Ibrahim 2003). Es necesario medir la biomasa, ya que estas mediciones proveen una estimación de la cantidad de carbono contenida en la vegetación (Dávalos et ál. 2008).

2.7.2 Biomasa en bosques

La biomasa de una plantación forestal o un bosque natural se puede determinar por diferentes métodos. Existen los métodos destructivos directos y no destructivos por medio de mediciones de volumen (Russo 2009). El método destructivo consiste en cortar los árboles en una parcela de área conocida y pesar la biomasa de los fustes, ramas y hojas de manera directa, luego mediante análisis de laboratorio se determina el peso seco (Chou y Gutiérrez 2013).

En los métodos no destructivos se realiza una estimación de la biomasa promedio de cálculos del volumen a partir de mediciones directas en el campo (Russo 2009). Estas mediciones se pueden realizar por medio de parcelas permanentes de muestreo (PPM), ya que proveen datos reales y fácil de verificar (Andrade e Ibrahim 2003).

2.7.3 Parcelas permanentes de muestreo (PPM)

Las características de las PPM constituyen un aspecto clave en el muestreo en campo, la forma de las PPM depende de la distribución espacial de los árboles, en plantaciones lineales se debe usar parcelas similares al estrato; en sistemas con árboles de distribución sistemática se recomiendan las PPM rectangulares, mientras que en árboles que se distribuyen al azar (dispersos), la forma más aconsejable es la circular (Andrade e Ibrahim 2003).

El número de PPM depende de su tamaño, de la intensidad del muestreo y del tamaño del sistema (Andrade e Ibrahim 2003). La Ecuación 1 muestra el método para determinar el número de PPM que se deben realizar en el bosque.

$$n = \frac{I_m \cdot A_T}{A_p \cdot 100} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

n: número de parcelas

I_m : Intensidad del muestro (%)

A_T : Área total del bosque (m^2)

A_p : Área de la parcela (m^2)

2.7.4 Captura de carbono en bosques

En campo se recolectan datos para calcular la densidad de la plantación (número de árboles por hectárea), se miden las características dasométricas como diámetros y altura de los árboles y mediante ecuaciones se calcula el área basal promedio y mediante modelos basados en análisis de regresión se estima la biomasa y el contenido de carbono presente en la biomasa (Russo 2009).

2.7.5 Factor de expansión de la biomasa (FEB)

El Factor de Expansión de la Biomasa (FEB) es un coeficiente que permite añadir a la biomasa de los fustes, obtenida a partir del volumen inventariado en campo, la biomasa correspondiente a las ramas, varas y hojas (Brown 1997). Es decir, los FEB expanden el peso seco del volumen calculado de existencias para incluir los componentes no maderables del árbol o el bosque (Russo 2009). El valor común empleado es 1,6; sin embargo, en sistemas agroforestales, se pueden encontrar valores promedios de 2,2 con un rango de 1,9 a 2,4 (Andrade e Ibrahim 2003).

2.7.6 Fracción de carbono en la biomasa

La estimación del almacenamiento de carbono se realiza a partir de los inventarios de la biomasa del ecosistema, al emplear la fracción de carbono, que representa el porcentaje de carbono en la biomasa (Russo 2009). Según el IPCC (2006) se debe asumir un valor de 0,5 en las estimaciones del carbono almacenado en sistemas. Autores como Chou y Gutiérrez (2013) también indican que el carbono que queda almacenado en la biomasa es de 50%. Sin embargo, Andrade e Ibrahim (2003) indican que la fracción de carbono puede variar entre 0,42 y 0,47 en el fuste de árboles en sistemas silvopastoriles.

Además, Silva (2005) indica que los árboles fijan CO_2 al realizar la fotosíntesis, el carbono capturado se convierte en celulosa y liberan el oxígeno, este carbono hace parte del 50% en promedio de la biomasa de los árboles (48-52%) y se distribuye en promedio de la siguiente forma: 51% en el tronco, 30% en las ramas, de 18% a 24% en las raíces y 3% en el follaje.

2.7.7 Captura de carbono en el suelo

El almacenamiento de carbono orgánico en los suelos depende de dos variables importantes, la concentración de carbono orgánico en suelo y la densidad aparente (Andrade e Ibrahim 2003).

La densidad aparente es la propiedad física de los suelos que permite conocer el peso de cierto volumen de suelo para hacer las estimaciones del carbono orgánico por unidad de área (Rubio 2010).

La determinación de la densidad aparente es sencilla; entre los métodos más comunes se encuentran el método del cilindro y el del terrón de suelo parafinado. El método del cilindro consiste en introducir un cilindro metálico al suelo, extraer la muestra de volumen conocido y secarla en un horno para determinar el peso, luego el peso se divide entre el volumen del suelo (volumen interno del cilindro) (Rubio 2010).

3 OBJETIVOS

3.1 a. General:

1. Estimar las emisiones y los sumideros de dióxido de carbono (CO₂) en sistemas de producción de carne en la zona sur de Costa Rica

3.2 b. Específicos:

1. Identificar las fuentes de emisión de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) en ganadería de carne, según las características del sistema
2. Estimar mediante ecuaciones las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) en ganadería de carne, según las características del sistema
3. Cuantificar el impacto de los sumideros de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) en la ganadería de carne, según las características del sistema
4. Comparar modelos diferentes de cálculo para determinar el balance de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq)
5. Elaborar un sistema de cálculo mediante una hoja de cálculo para determinar el balance dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) en sistemas ganaderos

4 PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA

4.1 Procedimiento general

El estudio se realizó en tres fincas ubicadas en la zona sur de Costa Rica, las cuales se dedican a la cría de ganado de carne. En la Figura 6 se muestra la ubicación espacial de las fincas San Antonio, La Dibujada y Térraba.

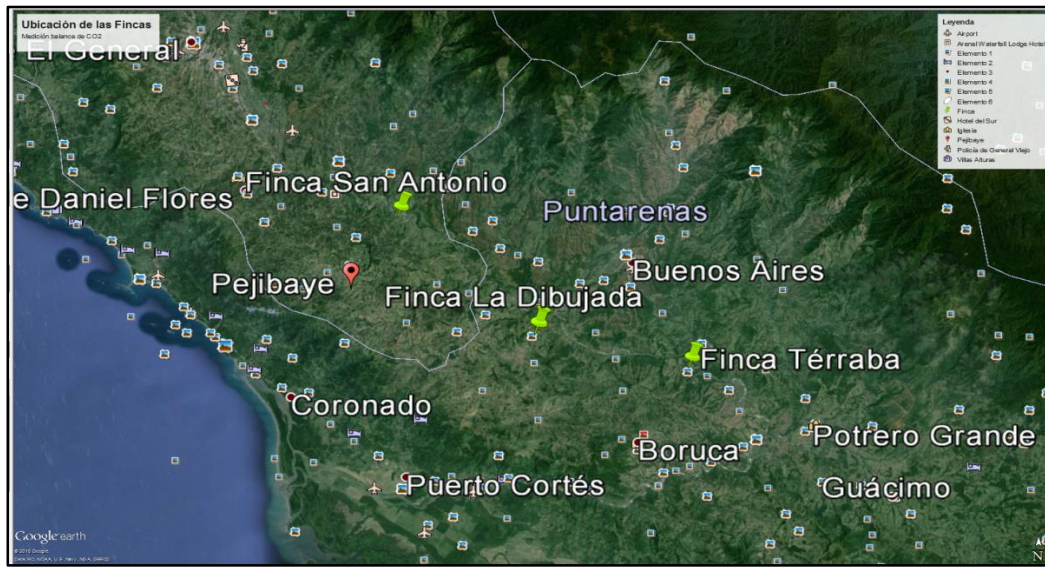


Figura 6. Ubicación de las tres fincas ganaderas utilizadas en el estudio

4.1.1 Encuesta

Se realizó una encuesta en las tres fincas para realizar la descripción general de las mismas. Se obtuvo datos del productor, dimensión de la finca, composición del hato ganadero, tipo de pasturas presentes en cada finca, así como datos sobre sanidad animal, manejo de la alimentación, uso de tecnologías reproductivas y sistemas silvopastoriles (Anexo 1).

4.1.2 Caracterización de las fincas

Con la información recopilada en la encuesta se realizó la caracterización agroecológica de cada una de las fincas donde se describió el manejo nutricional, manejo sanitario, manejo de los animales, manejo de los potreros y los indicadores productivos y reproductivos, además se realizó el inventario animal.

4.1.3 Capacidad de carga

Para estimar la capacidad de carga del pasto de cada una de las fincas se utilizó la Ecuación 2 sugerida por Méndez (2008). Se considera que una unidad animal (animal de 400 kg) consume al día el 10% del peso vivo.

$$CC = \frac{PF \cdot \%A}{CD \cdot DD} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

CC: Capacidad de carga (UA/ha)

PF: Producción de forraje del pasto (Kg de MV/ha)

%A: Porcentaje de aprovechamiento del pasto por parte del animal (60%)

CD: Consumo diario de una unidad animal (Kg)

DD: Días de descanso del pasto (días)

4.1.4 Estimación de las emisiones de GEI

Una vez caracterizadas las fincas se identificaron las fuentes de emisión de cada uno de los GEI (CO₂, CH₄ y N₂O), se consideraron aspectos como la fermentación entérica y la tasa de excreción de los animales, la fertilización de los forrajes, el transporte y uso de electricidad.

Tras identificar las fuentes de emisión de las fincas se procedió a recolectar los datos correspondientes y necesarios para estimar las emisiones para cada GEI (CO₂, CH₄ y N₂O). Con el fin de asegurar la recolección adecuada y detallada se contó con registros para la anotación de cada uno de los datos, los cuales fueron digitalizados en una hoja electrónica de Microsoft Excel 2013. Con los datos recolectados se procedió a calcular las emisiones para cada una de las tres fincas.

4.1.4.1 Estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica

La estimación de emisión de CH₄ por fermentación entérica se calculó mediante el uso del factor de emisión establecido por el IMN (2016). Para el cálculo adecuado se realizó el inventario animal de cada finca por categoría animal, donde los animales se agruparon por categorías: terneros (0-1 año), hembras en crecimiento (1-3 años), machos en crecimiento (1-3 años), hembras adultas (mayores de 3 años) y reproductores (mayores de 3 años). Una vez

realizado el inventario animal se procedió a calcular la emisión de CH₄ mediante la Ecuación 3.

$$E_{CH_4} = \frac{(\sum CA_C \cdot FE_{CH_4}) \cdot PCG_{CH_4}}{1000} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

E_{CH₄}: Emisión de CH₄ (t CO₂-eq/año)

CA_c: Cantidad de animales de cada categoría al año

FE_{CH₄}: Factor de emisión de CH₄ para cada categoría animal (kg CH₄/animal/año)

PCG_{CH₄}: Potencial de calentamiento global CH₄ (PCG_{CH₄}= 21)

El valor obtenido corresponde a la emisión de CH₄ por fermentación entérica al año y se expresa en t CO₂-eq.

4.1.4.2 Estimación de las emisiones de CH₄ por producción de excretas

Las emisiones de CH₄ ocasionadas por la excreción de los animales se calcularon mediante el uso de factores de emisión para Costa Rica establecidos por el IMN (2016), para lo cual se utilizó la Ecuación 4 sugerida por el IPCC (2006).

$$E_{CH_4} = \frac{PT \cdot FE_{CH_4} \cdot PCG_{CH_4}}{1000} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

E_{CH₄}: Emisión de CH₄ (t CO₂-eq/año)

PT: Población total (total de animales/año)

FE_{CH₄}: Factor de emisión de CH₄ para bovinos (kg CH₄/animal/año)

PCG_{CH₄}: Potencial de calentamiento global del CH₄ (PCG_{CH₄}= 21)

Para obtener un valor que permita realizar comparaciones, el resultado se multiplica por el PCG del metano para obtener el dato en CO₂ equivalente y se transforma el valor en toneladas métricas.

4.1.4.3 Estimación de las emisiones de N₂O por producción de excretas

Para estimar la emisión de N₂O proveniente de la excreción de los animales se utilizó la Ecuación 5 sugerida por el IPCC (2006).

$$E_{N_2O} = \frac{PT \cdot TE_N \cdot FE_{N_2O} \cdot PCG_{N_2O} \cdot 365}{1000} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

E_{N₂O}: Emisión de N₂O (t CO₂-eq/año)

PT: Población total (total de animales/año)

TE_N: Tasa de excreción del nitrógeno (kg N/1000 kg masa animal/día)

FE_{N₂O}: Factor de emisión del N₂O (kg N₂O/animal/año)

PCG_{N₂O}: Potencial de calentamiento global del N₂O (PCG_{N₂O}= 310)

4.1.4.4 Estimación de las emisiones de CO₂ por el uso de combustible

Para la estimación de CO₂ emitida por la quema de combustibles fósiles se utilizaron los factores de emisión establecidos por el IMN (2016) para Costa Rica, en base a la calidad y tipo de combustible que importa la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE 2016), los factores de emisión se muestran en el Cuadro 11.

Para el cálculo es necesario conocer el tipo y la cantidad total de combustible consumida en los vehículos y máquinas de trabajo que se utilizan de manera exclusiva para actividades de la finca durante un año. Debido a que los propietarios de las tres fincas sujetas a estudio llevan registros, se solicitó a cada uno de ellos los registros correspondientes.

Los datos registrados se encontraban con la fecha de compra, el tipo de combustible y el monto de combustible comprado (en colones), por lo que se consultó la base de datos de RECOPE, donde se muestra los precios históricos de los diferentes tipos de combustibles, con estos datos se calculó la cantidad de litros de cada combustible utilizado en las fincas durante un año. Con la cantidad y el tipo de combustible utilizado se estimó la emisión de CO₂ por medio de la Ecuación 6.

$$E_{CO_2} = \frac{CTC \cdot FE_{CO_2} \cdot PCG_{CO_2}}{1000}$$

Ecuación 6

Donde:

E_{CO_2} : Emisión de CO₂ (t CO₂-eq/año)

CTC: Consumo total de combustible al año (litros)

FE_{CO_2} : Factor de emisión del CO₂ (kg CO₂-eq/litro)

PCG_{CO_2} : Potencial de calentamiento global del CO₂ ($PCG_{CO_2}= 1$)

4.1.4.5 Estimación de la emisión de CO₂ por uso de electricidad

Para la estimación de la emisión de CO₂ producida por el consumo de electricidad se utilizó el factor de emisión del consumo eléctrico (kg CO₂-eq/kWh) para Costa Rica para el año en curso que se muestra en el Cuadro 12, el cual es establecido por el IMN (2016); así como la Ecuación 7.

Para esta estimación es necesario conocer el consumo total al año de electricidad en kWh consumida por cada una de las fincas. Debido a que el consumo de electricidad por parte de las fincas corresponde de manera exclusiva al uso de la cerca eléctrica, además como las fincas a partir del mes de junio implementaron este sistema de división de potreros, se procedió a calcular el aumento en el monto económico del recibo de un mes al otro. Luego se procedió a calcular el consumo de electricidad al conocer el costo en colones de un kW/h.

$$E_{CO_2} = \frac{CTE \cdot FE_{CO_2} \cdot PCG_{CO_2}}{1000}$$

Ecuación 7

Donde:

E_{CO_2} : Emisión de CO₂ (t CO₂-eq/año)

CTE: Consumo total de electricidad al año (litros)

FE_{CO_2} : Factor de emisión del CO₂ (kg CO₂-eq/kWh)

PCG_{CO_2} : Potencial de calentamiento global del CO₂ ($PCG_{CO_2}= 1$)

4.1.4.6 Estimación total al año de las emisiones de GEI para las fincas

Una vez calculada la emisión por separado de cada una de las fuentes de emisión de las tres fincas, se realizó la sumatoria del resultado de cada una de las fuentes. Debido a que la emisión correspondiente a cada fuente se encuentra en las mismas unidades, se obtiene el total de emisión de GEI al año en toneladas de CO₂ equivalente (t de CO₂-eq).

4.1.5 Estimación de la captura CO₂

Para la estimación de la captura de CO₂ de cada una de las fincas se tomó en cuenta la captura de CO₂ por parte de los diferentes usos del suelo de las fincas, entre ellos se encuentra la captura carbono de las cercas vivas, bosques secundarios, bancos forrajeros, pasturas, árboles dispersos en potreros y el carbono orgánico del suelo (COS).

4.1.5.1 Estimación de la captura de CO₂ por cercas vivas

La estimación de captura de CO₂ por parte de las cercas vivas se realizó mediante ecuaciones alométricas, para las cuales se necesitan datos que deben ser recolectados en campo. Para esto se realizó un muestreo en cercas vivas, el cual consistió en la toma de medidas dasométricas como la altura total del tallo (corte de poda) y el diámetro a la altura del pecho (DAP) de una muestra de 10 individuos representativos de la cerca viva, en una distancia de 25 metros lineales de cerca, luego se contó la cantidad de árboles presentes en esa distancia. Con los datos obtenidos se calculó la biomasa de la cerca viva con la Ecuación 8 sugerida por Hassán et ál. (2015).

$$\log_{10} B = -0,82 + 2,38 \log_{10} DAP \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

B: biomasa (kg/árbol)

DAP: Diámetro altura pecho a 1,30 m (cm)

Luego de estimar la biomasa de las cercas vivas de cada una de las 3 fincas se calculó la captura de CO₂ mediante la Ecuación 9:

$$C = B_{cv} \cdot CB \cdot FC_{CO_2} \cdot D_{cv}$$

Ecuación 9

Donde:

C: Captura de CO₂ (t CO₂-eq)

B_{cv}: Biomasa de las cercas vivas (t/km)

CB: Contenido de carbono por unidad de biomasa (CB=0,5)

FC_{CO₂}: Conversión de carbono a equivalentes de CO₂ (FC_{CO₂}= 3,67)

D_{cv}: Distancia (km)

Los valores utilizados para el contenido de carbono por unidad de biomasa y el factor de conversión de carbono a CO₂ utilizados son los establecidos por el IPCC (2006). El valor obtenido en la ecuación corresponde a la captura total de CO₂ por parte de las cercas vivas en toda la finca (t CO₂-eq).

4.1.5.2 Estimación de la captura de CO₂ por bosques

La estimación de captura de CO₂ en bosques se realizó mediante la utilización de diferentes ecuaciones. Para estimar los contenidos de biomasa sobre el suelo y carbono de las tres fincas se establecieron parcelas concéntricas temporales con un radio de 8,92 m en los bosques. En cada parcela se identificó el número de árboles, se midió el DAP (1,30 m) de los árboles con más de 10 cm de DAP y la altura total de los árboles en las parcelas establecidas.

La forma de las parcelas escogida fue la circular debido a que los árboles en los bosques se distribuyen al azar (dispersos). El tamaño de las parcelas utilizadas fue de 250 m² según Andrade e Ibrahim (2003). Para estimar los contenidos de biomasa se debe estimar el área basal para lo cual se utilizó la Ecuación 10 sugerida por Russo (2009).

$$AB = (DAP^2 \cdot 0,7854) * N$$

Ecuación 10

Donde:

AB: Área basal (m²/ha)

DAP: Diámetro altura del pecho (m)

N: Números de árboles (árboles/ha)

Luego se determinó el volumen maderable o volumen de los fustes por medio de la Ecuación 11 sugerida por Russo (2009).

$$Vol = AB \cdot H \cdot C_F$$

Ecuación 11

Donde:

Vol: Volumen maderable (m³/ha)

AB: Área Basal (m²/ha)

H: Altura (m)

C_F: Coeficiente de forma (C_F=0,5)

Para estimar el contenido de carbono se utilizó la Ecuación 12 y los factores de expansión de la biomasa arriba del suelo, la densidad básica de la madera y los factores de conversión sugeridos por el IPCC (2006) para cada una de las 3 fincas:

$$C = Vol \cdot D_m \cdot CB \cdot FEB \cdot FC_{CO_2} \cdot A_T$$

Ecuación 12

Donde:

C: Captura de CO₂ (t CO₂-eq)

Vol: Volumen maderable (m³/ha)

D_m: Densidad básica de la madera (D_m=0,5 t/m³)

CB: Contenido de carbono por unidad de biomasa (CB=0,5)

FEB: Factor de expansión de la Biomasa (FEB=1,6)

FC_{CO₂}: Conversión de carbono a equivalentes de CO₂ (FC_{CO₂}=3,67)

A_T: Área total del bosque (ha)

El valor obtenido en la ecuación anterior correspondió a la remoción total de CO₂ por el bosque en toneladas de CO₂ equivalente (t CO₂-eq) para cada una de las tres fincas.

4.1.5.3 Estimación de la captura de CO₂ por pasturas

Para estimar la biomasa herbácea de las pasturas de las tres fincas, se realizó un doble muestreo, éste método consiste en realizar un muestreo real y otro visual, luego se estima la biomasa con base en una regresión lineal. Una vez calculada la biomasa se estima la captura de CO₂ mediante la Ecuación 13:

$$C = B \cdot C_p \cdot FC_{CO_2} \cdot A_p$$

Ecuación 13

Donde:

C: Captura de CO₂ (t de CO₂-eq)

B: Biomasa del pasto (t de MS/ha/año)

C_p: Fracción de carbono del pasto (C_p=0,5)

FC_{CO2}: Conversión de carbono a equivalentes de CO₂ (FC_{CO2}=3,67)

A_p: área de pasturas (ha)

El área de las pasturas se calculó mediante el uso de imágenes obtenidas el presente año (2016) de Google Earth®, donde se obtuvo la dimensión de la finca cubierta por pasturas. Los datos obtenidos en la ecuación anterior es el valor de captura total de CO₂ de la finca y son expresados en toneladas de CO₂ equivalentes (t CO₂-eq).

4.1.5.4 Estimación de la captura de CO₂ por árboles dispersos en potreros

Para la estimación de la captura de CO₂ en los árboles que se encuentran dispersos en potreros se utilizaron imágenes obtenidas con el programa Google Earth® para obtener la cantidad de árboles aislados en los potreros. Luego se realizó un muestreo al azar, donde se midió el DAP y la altura total de 6 árboles, los promedios obtenidos se introdujeron en la Ecuación 10 para estimar el área basal, una vez estimada se utilizó la Ecuación 14 propuesta por Chacón y Alice (2013) para calcular la biomasa aérea de los árboles.

$$Y = 2,9 + 5,05 \cdot AB - 0,16 \cdot N + 0,0041 \cdot N^2 \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

Y: Biomasa (t/ha)

AB: Área Basal (m²/ha)

N: Número de árboles (árboles/ha)

Una vez estimada la biomasa aérea de los árboles en potrero se procedió a calcular la captura de CO₂, para lo cual se introdujeron los datos en la Ecuación 15.

$$C = B_{AP} \cdot C_{AP} \cdot FC_{CO2} \cdot A_{AP} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

C: Captura de CO₂(t de CO₂-eq)

B_{AP}: Biomasa de los arboles dispersos en potreros (t/ha)

C_{AP}: Contenido de carbono en los arboles dispersos en potreros (C_{BF}=0,5)

FC_{CO2}: Factor de conversión de carbono a CO₂ (FC_{CO2}= 3,67)

A_{AP}: Área de los árboles dispersos en potreros (ha)

Los datos obtenidos en la ecuación anterior es el valor de captura total de CO₂ (t de CO₂-eq) por parte de los arboles dispersos en potreros en cada finca.

4.1.5.5 Estimación de la captura de CO₂ por bancos forrajeros

Para la estimación de la captura de CO₂ por parte de los bancos forrajeros se utilizaron imágenes obtenidas por medio del programa Google Earth® para obtener el área total que ocupan los bancos forrajeros en la finca. Luego se estimó la biomasa aérea de cada banco forrajero, para lo cual se cortó las plantas ubicadas en un metro lineal, se pesó en fresco y se envió al laboratorio para determinar el peso en seco. Los datos obtenidos se introdujeron en la Ecuación 16:

$$C = B_{BF} \cdot C_{BF} \cdot FC_{CO2} \cdot A_{BF}$$

Ecuación 16

Donde:

C: Captura de CO₂ (t de CO₂-eq)

B_{BF}: Biomasa del banco forrajero (t/ha/año)

C_{BF}: Contenido de carbono en el banco forrajero (C_{BF}=0,5)

FC_{CO2}: Factor de conversión de carbono a CO₂ (FC_{CO2}= 3,67)

A_{BF}: Área del banco forrajero (ha)

Los datos obtenidos en la ecuación anterior es el valor de captura total de CO₂ (t de CO₂-eq) por parte de cada uno de los bancos forrajeros establecidos en la finca, en el caso de las fincas que poseían más de un banco forrajero se sumó la captura de CO₂ por parte de cada uno.

4.1.5.1 Estimación de la captura de CO₂ por parte del suelo

Para estimar el contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) se determinó la densidad aparente del suelo mediante el método del cilindro metálico. Además se realizó el muestreo de suelos al azar en forma de N, las muestras se enviaron al laboratorio donde se realizó el análisis químico y porcentaje de materia orgánica presente del suelo (Anexo 3). Para el cálculo de la densidad aparente se utilizó la Ecuación 17 sugerida por Rubio (2010).

$$D_a = \frac{P_s}{V_c} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

D_a: Densidad aparente del suelo (g/cm³)

P_s: peso del suelo (g)

V_c: Volumen del cilindro (cm³)

Una vez obtenidos los datos de materia orgánica y densidad aparente los datos se introdujeron en la Ecuación 18 sugerida por Andrade e Ibrahim (2003).

$$C = MO \cdot FC_{MO} \cdot D_a \cdot P_s \cdot A_s \cdot FC_{CO_2} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

C: Captura de CO₂ (t de CO₂-eq)

MO: Materia orgánica (%)

FC_{MO}: Factor de conversión de materia orgánica a carbono (FC_{MO}=0,58)

D_a: Densidad aparente (g/cm³)

P_s: profundidad del suelo (cm)

A_s: Área de suelo (ha)

FC_{CO₂}: Factor de conversión de carbono a CO₂ (FC_{CO₂}= 3,67)

El factor de conversión de materia orgánica a carbono utilizado es el indicado por Andrade e Ibrahim (2003). El valor obtenido en la ecuación anterior corresponde a la captura total de CO₂ equivalentes (t CO₂-eq) por parte del suelo, en el área cubierta por pasturas.

4.1.5.2 Estimación total al año de la captura de CO₂ de las fincas

Una vez calculado la remoción de CO₂ para cada uso de la tierra de los tres sistemas de producción se procedió a realizar la sumatoria para obtener el total de remoción de CO₂ (t de CO₂-eq) de cada uno. Para estimar la tasa de captura de CO₂ de los bosques en el periodo de un año se tomó como edad de mayor fijación de carbono los 50 años de edad, ya que es en ésta edad donde se presenta la mayor capacidad de captura, después de ésta, la tasa de captura disminuye, para los demás usos del suelo se utilizó 25 años de edad (CATIE y MAG 2010).

4.1.6 Balance de CO₂

Con los datos obtenidos de emisión de CO₂ y captura se CO₂ se realizó el balance de CO₂ para cada finca, para esto se utilizó la Ecuación 19:

$$\text{Balance de CO}_2 = \text{Captura de CO}_2 - \text{Emisión de CO}_2 \quad \text{Ecuación 19}$$

Además, el valor obtenido se dividió entre el área total de la finca (ha) para obtener un valor que permita realizar comparaciones con otras fincas. Un valor positivo indica que la finca es almacenadora neta de CO₂, esto significa que captura CO₂, mientras que un valor negativo indica que la finca es emisora de CO₂ y por lo tanto libera CO₂ al ambiente.

Es importante mencionar la diferencia que existe entre el balance de CO₂ y el forzamiento radiativo, ya que un valor positivo de radioactividad indica una mayor captura de calor por lo tanto la tierra tiende a aumentar la temperatura, mientras que un balance de CO₂ positivo indica que el sistema captura más CO₂ del que produce, y por lo tanto favorece al ambiente al captar carbono.

4.1.7 Análisis de la información

La información se analizó por medio de medidas de tendencia central (promedio, desviación estándar, máximos y mínimos) descritos por Levin y Rubin (2004), para así describir, según el tipo de sistema, su capacidad de producción y captura de los gases de efecto invernadero.

4.1.8 Comparación de diferentes modelos de estimación del balance de CO₂

Se determinó por otros dos métodos diferentes de cálculo la emisión de CH₄ por fermentación entérica, ya que es una de las fuentes que contribuye con la mayor emisión de GEI, con el fin de conocer si existe alguna diferencia en el balance de CO₂ de cada una de las fincas.

Este segundo método consiste en estimar la emisión de CH₄ en relación al consumo de materia seca (MS) por parte del animal, para determinar el consumo de MS de ganado en crecimiento y engorde se utilizó la Ecuación 20 sugerida por Arronis y Mora (2011):

$$C_{MS} = PV^{0,75} \cdot (0,244 \cdot EN_{ma} - 0,0111 \cdot EN_{ma} - 0,472) / EN_{ma} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

C_{MS}: Consumo de Materia Seca (kg/animal/día)

PV: Peso Vivo del animal (kg)

EN_{ma}: Concentración diaria de energía neta de mantenimiento de la dieta (MJ/kg)

El valor de energía neta de mantenimiento utilizado es el valor promedio obtenido para el pasto brizantha (*B. brizantha*) a partir de la energía digestible (ED) que presenta el pasto (Anexo 9). Para el cálculo de consumo de MS para los animales adultos se utilizó la Ecuación 21 sugerida por Arronis y Mora (2011):

$$C_{MS} = PV^{0,75} \cdot [(0,0119 \cdot EN_{ma}^2 + 0,1938) / EN_{ma}] \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

C_{MS}: Consumo de Materia Seca (kg/animal/día)

PV: Peso Vivo del animal (kg)

EN_{ma}: Concentración diaria de energía neta de mantenimiento de la dieta (MJ/kg)

Para obtener la ingesta de energía bruta por animal, el consumo de materia seca se multiplicó por el valor del aporte promedio de energía del alimento seco, mediante la Ecuación 22 sugerida por Arronis y Mora (2011):

$$IEB = C_{MS} * Za \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

IEB: Ingesta de Energía Bruta (MJ/animal/día)

C_{MS}: Consumo de Materia Seca (kg/animal/día)

Za = Valor promedio en MJ/kg de alimento seco, se establece en 18,45.

La emisión de CH₄ por los animales se estimó a partir de la ingesta de energía bruta por parte de los mismos, según la Ecuación 23 sugerida por Arronis y Mora (2011):

$$E_{CH_4} = (IEB \cdot Y_m \cdot 365 \text{ días}) / FC_{CH_4} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

E_{CH₄}: Emisión de CH₄ (kg/animal/año)

IEB: Ingesta de Energía Bruta (MJ/día)

Y_m: Fracción de energía bruta convertida a metano (6,5%)

FC_{CH₄}: Factor de conversión de MJ a kg de CH₄ (55,65)

El factor 55,65 (MJ/kg CH₄) es el contenido de energía del metano, además las dietas utilizadas para la alimentación de los animales poseen una energía neta de mantenimiento inferior a 5,5 MJ/kg de MS (Anexo 9), éstas son consideradas de baja calidad, por lo que se utilizó el límite superior del Y_m que es 6,5% según IPCC (2006).

El tercer modelo también consiste en estimar las emisiones de CH₄ en base al consumo de materia seca del animal, sin embargo en este método se utiliza un factor de emisión de CH₄ sugerido por Naranjo et ál. (2012). De igual manera se utilizó la Ecuación 20 para estimar el consumo de MS de animales en crecimiento y engorde y la Ecuación 21 para estimar el consumo de MS de animales adultos. Para estimar la emisión de CH₄ se utilizó la Ecuación 24.

$$E_{CH_4} = C_{MS} \cdot FE_{CH_4} \cdot 365 \text{ días} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

E_{CH₄}: Emisión de CH₄ (kg/animal/año)

C_{MS}: Consumo de Materia Seca (kg/animal/día)

FE_{CH₄}: Factor de emisión de metano (21,6 g/kg de MS)

4.1.9 Simulaciones

Una vez realizado el balance de gases de efecto invernadero en los tres sistemas de producción se identificó los componentes que presentan la menor remoción de CO₂ atmosférico. Como en las tres fincas evaluadas los sistemas silvopastoriles (árboles dispersos en potreros y cercas vivas) presentaron la menor mitigación de carbono se realizaron diferentes escenarios hipotéticos en ambos sistemas, con el fin de conocer en cuanto aumentaría el secuestro de CO₂ atmosférico así como la ganancia económica que implicaría al aumentar la cobertura de los arboles dispersos en potreros o al incrementar los kilómetros lineales de cercas vivas.

Para evaluar la ganancia económica que recibe la finca al aumentar la biomasa y por ende la captura de carbono por los diferentes sistemas silvopastoriles se consideró el costo de la tonelada de CO₂-eq, la cual se encuentra en el mercado nacional con un valor de 7,5 dólares estadounidenses según FONAFIFO (2016), además se utilizó el tipo de cambio de referencia para el dólar, el cual fue establecido en ₡540,00 por el Banco Central de Costa Rica (2016) para el mes de junio del 2016.

4.1.10 Inconsistencias

Con el fin de facilitar la ejecución de otras metodologías relacionadas con inventarios de carbono, se desarrolló el capítulo de inconsistencias, el cual consiste en indicar las contrariedades que se encontraron en los diferentes aspectos que involucran la captura, emisión y balance de gases de efecto invernadero.

4.1.11 Elaboración de hoja electrónica para el cálculo de la emisión, captura y balance de CO₂ en ganadería

Para la elaboración de la hoja electrónica para el cálculo de la emisión, fijación y balance de CO₂ se utilizó el programa Excel 2013, esta hoja de cálculo es una herramienta que facilitará el cálculo de la emisión y fijación de CO₂ en diferentes fincas dedicadas a la ganadería tanto de carne, leche o doble propósito, a la vez le permite al productor realizar diferentes escenarios hipotéticos en el sistema de producción, con el fin de tomar decisiones acertadas para convertir la finca en almacenadora de carbono cuando no lo sea o para aumentar la fijación de carbono, en el caso de que ya sea una finca con balance positivo de carbono.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización de las fincas

5.1.1 Finca La Dibujada

5.1.1.1 Ubicación

La finca La Dibujada se ubica en La Dibujada Pilas, cantón de Buenos Aires, provincia de Puntarenas, Costa Rica, entre las coordenadas geográficas 9 6 12.79, -83 24 50.54. El clima de la zona es tropical lluvioso seco, con una época seca de 5 meses y una época lluviosa de 7 meses. Además, se caracteriza por presentar una precipitación anual de 3 513 mm, con una temperatura máxima de 31,9 °C y una mínima de 22,7 °C (IMN 2008).

5.1.1.2 Características generales

Esta finca se dedica a la cría de ganado de carne y cuenta con una extensión de 45 hectáreas, de las cuales 32,85 ha se dedican a la ganadería, 12 ha están cubiertas por bosque y 1500 m² poseen bancos forrajeros. En la Figura 7 se muestra la ubicación de la finca así como los diferentes usos del suelo.

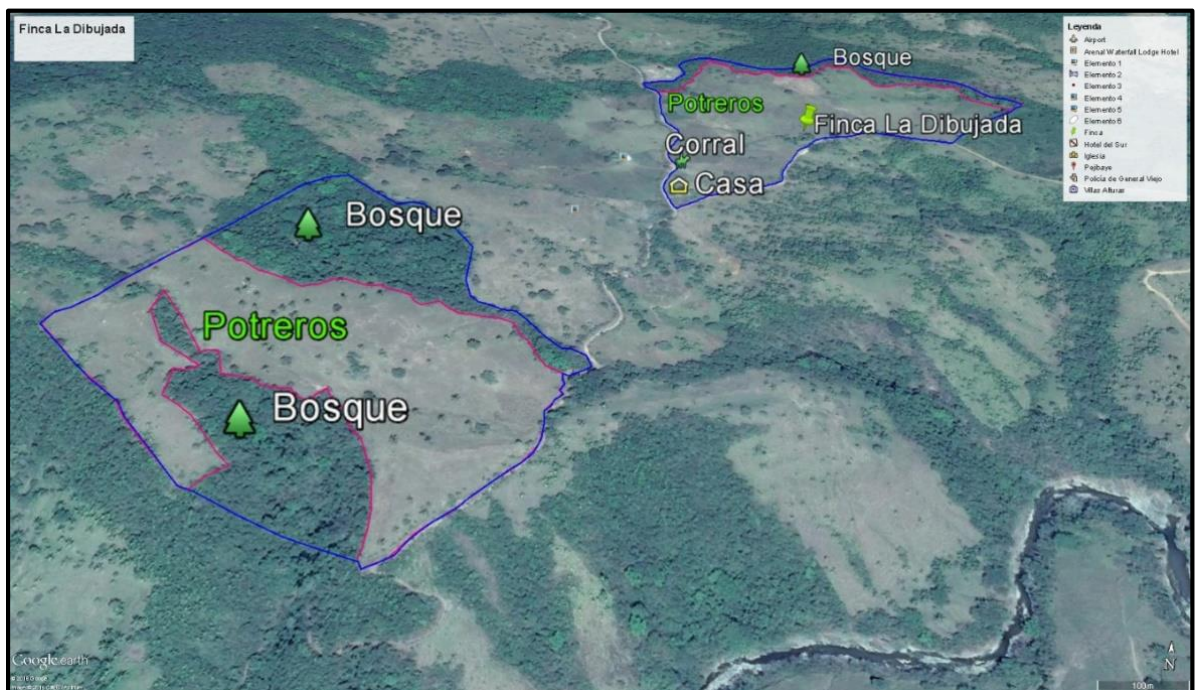


Figura 7. Usos del suelo de la finca La Dibujada ubicada en Pilas de Buenos Aires, Puntarenas

La topografía del terreno sobre el cual se encuentra la finca es 50% ondulada y 50% plana. La finca cuenta con un hato de 69 animales, donde la raza que predomina es la raza Brahman. En el Cuadro 13 se muestra la división de la estructura de hato que maneja esta finca.

Cuadro 13. Estructura de hato promedio al año de la finca La Dibujada

Categoría	Cantidad
Terneros	12
Hembras en crecimiento	15
Machos en crecimiento	11
Hembras adultas	27
Machos adultos	1
Caballos	3
Total:	69

El área de la finca dedicada a la ganadería se encuentra cubierta por pasto brizantha (*Brachiaria brizantha*), la cual se encuentra dividida en 20 potreros, con una dimensión de 1 ha cada uno y 7 potreros con un tamaño de 1,5 ha. El periodo de rotación es de 50 días y la permanencia del ganado en cada uno de los apartos es de 3 a 4 días. El periodo de descanso adecuado para el pasto brizantha en el trópico es de 35 a 45 días, por lo que el período de descanso de los potreros de ésta finca exceden el período recomendado, esto afecta de manera negativa la calidad, la digestibilidad y el aprovechamiento del forraje (Anzola y Giraldo 2015).

Los días de permanencia en cada potrero se encuentra dentro del periodo recomendado por Méndez (2008), según el autor el período de ocupación de un potrero no debe superar los siete días de permanencia, además indica que este período debe ser el adecuado para que no exista subpastoreo, porque el pasto se lignifica y pierde calidad nutritiva; tampoco debe existir sobrepastoreo, porque los animales empiezan a consumir un forraje de inferior calidad y a pisotear el potrero. Además, según Fernández (2007) para que un animal pueda dar rendimientos regulares es preciso que no permanezca más de tres días en un mismo potrero y para que los rendimientos del animal sean máximos no debe permanecer más de un día en un mismo apto.

El rendimiento productivo que presentó el pasto fue 9,90 t de MV/ha/año, dicho valor fue obtenido durante la época seca por lo que es de esperar rendimientos mayores en la época lluviosa. La carga animal actual de la finca es de 1,70 UA/ha, sin embargo al estimar la capacidad de carga de la pastura en base a la disponibilidad del forraje y en el consumo de materia fresca (10% del

peso vivo) de un animal de 400 kg (una unidad animal) se obtuvo que el pasto de esta finca tiene la capacidad de manejar 2,97 UA/ha, con base en lo anterior, el productor cuenta con la posibilidad de aumentar la cantidad de animales en la finca.

El pH del suelo es inferior a 5,5 por lo que es un suelo ácido, además el contenido de bases es baja por lo que la capacidad del suelo de actuar como amortiguador frente a la acumulación del ácido es pequeña, esto favorece una mayor cantidad de iones H⁺ en los sitios de intercambio (Bertsch 1998) (Anexo 2). La densidad aparente es la adecuada, esto indica que es un suelo poroso y bien drenado (Rubio 2010). No presenta deficiencia de elementos, sin embargo presenta contenidos altos de Manganeseo (Mn), se debe prestar atención a este elemento, ya que pueden existir problemas de toxicidad de Mn, de manera principal porque este elemento es muy soluble a pH menores de 5,5.

La alimentación de los animales consiste en el pastoreo y en el suministro de sal y minerales (Pecutrin®) en una relación 1:1, relación adecuada según Méndez (2008), el cual indica que para satisfacer las necesidades de minerales, los animales deben tener siempre disponible una buena mezcla mineral, en una proporción 1:1 entre sal común y el mineral. Además, en verano se les suministra caña forrajera (*Saccharum officinarum*) y gallinaza a los machos cuando se encuentran prontos a salir al mercado. Asimismo, el productor desea implementar un ensilaje para complementar la alimentación en verano. El pasto brizantha durante los primeros meses de la época lluviosa, es capaz de suplir todas las necesidades nutricionales del animal, sin embargo en la época seca, los contenidos de proteína y energía disminuyen, por lo que es necesario la suplementación estratégica.

El método de reproducción utilizado en la finca es la monta continua durante todo el año. Además, se realizan palpaciones y un examen andrológico una vez al año (al inicio del verano) para conocer el estado reproductivo de los animales. La edad a primer parto de las hembras es de 37,6 meses en promedio, lo que indica que las hembras se preñan a la edad de 2,4 años, esta edad se considera adecuada para el ganado del trópico (Sánchez 2010).

Asimismo, el intervalo entre partos (IEP) en la finca La Dibujada es de 15,8 meses en promedio, el periodo abierto es de 185,5 días y el porcentaje de parición es de 76,1%. Según Sánchez (2010) lo recomendado es que el IEP sea de 12 meses, sin embargo para animales en el trópico se considera aceptable un periodo de 14 meses entre partos y que el periodo abierto no supere los 100 días, para evitar que la vaca permanezca improductiva por largo tiempo.

Como se observa el IEP de la finca es extenso y supera los 14 meses debido a que el periodo abierto excede los 100 días. Esto sugiere que las vacas después del parto duran alrededor de 6 meses para preñarse, situación que se podría relacionar con aspectos nutricionales. Debido a que la monta es continua se descarta una mala detección de celos, además la relación vaca:toro se considera adecuada (27:1). Factores como la presencia de abortos, el periodo abierto en épocas de escasa disponibilidad forrajera y alimentación de baja calidad pueden ocasionar que las vacas pierdan condición corporal y tarden más tiempo en la recuperación posparto, lo que también afecta los índices de parición.

También se podría considerar que la lactancia extienda el periodo de anestro posparto debido a un bloqueo hormonal causado por la prolactina, que es la hormona responsable de la lactancia, ya que el destete en la finca se realiza a los 7 meses de edad de los terneros, con un peso de 220 kg.

En cuanto a los sistemas silvopastoriles, la finca cuenta con 40 árboles dispersos en potreros, con una densidad de 1,26 árboles/ha, además posee 2,7 km de cercas vivas, así como 12 ha cubiertas por bosque, entre las especies de árboles que se encuentran en el bosque se pueden mencionar el espavel (*Anacardium excelsum*), copalchí (*Coutarea latiflora*), ron-ron (*Astronium graveolens*), guarumo (*Cecropia peltata*), carbonero (*Calliandra trinervia*), entre otros.

Asimismo, la finca cuenta con bancos forrajeros para el corte y acarreo, posee un banco energético de caña forrajera de 1000 m², el cual presentó una producción de 17,5 t de MV/ha cosechado a una edad de 60 días, este valor se encuentra por debajo del valor obtenido en la recopilación de datos de producción de forraje para caña forrajera descritos por diferentes autores (Anexo 5).

También posee 2 bancos de proteína, uno de ellos está compuesto por 250 m² de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y el otro es de 250 m² de cratylia (*Cratylia argentea*). En cuanto a la producción de forraje, el banco de botón de oro presentó una producción de 6 t de MV/ha, mientras que el banco de cratylia presentó 4 t de MV/ha. Ambas especies cosechadas con edades de 90 días presentaron valores inferiores al promedio de producción de forraje obtenido en la recopilación de datos en los Anexos 6 y 7.

5.1.2 Finca San Antonio

5.1.2.1 Ubicación

La finca San Antonio se encuentra ubicada en San Antonio de Pejibaye, en el cantón de Pérez Zeledón, San José, Costa Rica, entre las coordenadas geográficas 9 12 44.36, -83 31 47.86. El clima de la zona presenta una temperatura máxima de 31,9 °C y una mínima de 22,7 °C y una precipitación media anual de 3 609 mm. Además la zona presenta una época seca de 5 meses y una época lluviosa de 7 meses (IMN 2008).

5.1.2.2 Características generales

Este sistema de producción cuenta con una extensión de 91 hectáreas, de las cuales 71 ha se encuentran dedicadas a la ganadería, 9,7 ha se encuentran cubiertas por bosques, 10 ha están dedicadas a la siembra de café y 0,3 ha de bancos forrajeros. El terreno donde se encuentra se caracteriza por ser 50% ondulado y 50% plano. En la Figura 8 se muestra la distribución de los diferentes usos del suelo de esta finca.

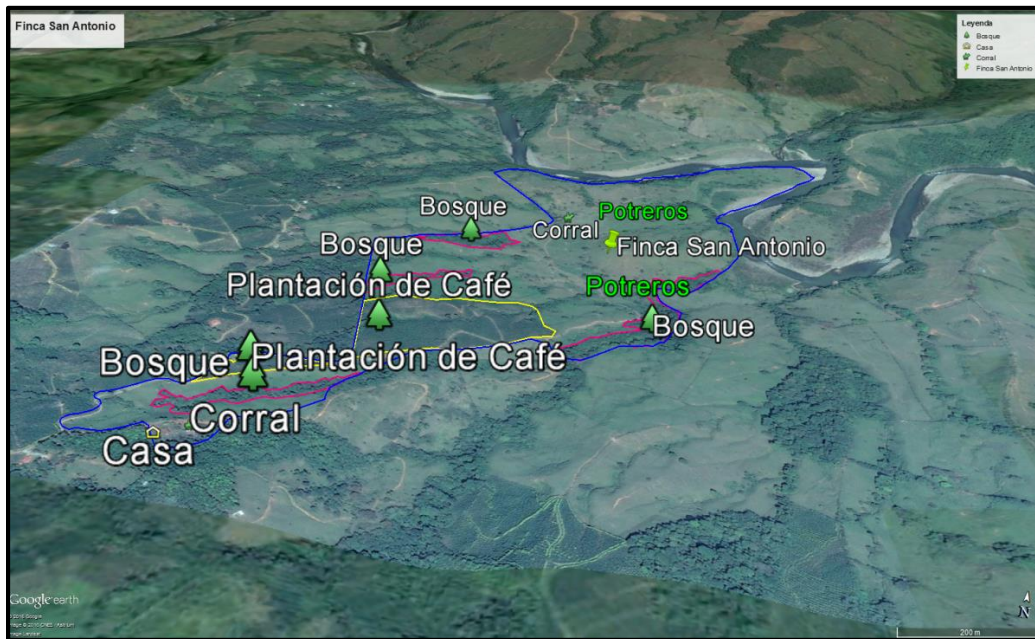


Figura 8. Usos del suelo de la finca San Antonio ubicada en Pejibaye de Pérez Zeledón

La finca se dedica a la cría de ganado de carne y cuenta con un total de 109 animales de las razas Brahman, Simbra y Brangus. La estructura de hato que posee lo finca se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Estructura de hato promedio al año de la finca San Antonio

Categoría	Cantidad
Ternereros	6
Hembras en crecimiento	22
Machos en crecimiento	1
Hembras adultas	75
Machos adultos	2
Caballos	3
Total:	109

El pasto predominante en la finca es el brizantha con una extensión de 71 ha. Las pasturas se encuentran divididas en 70 potreros con un tamaño de una hectárea cada uno y un período de rotación de 28 días con 3 días de permanencia en cada uno. El periodo de rotación de la finca es el adecuado para el pasto brizantha según Méndez (2008), el cual indica que esta especie de pasto tiene la capacidad de recuperarse en 28 días y presentar las condiciones adecuadas para el que el ganado lo consuma, cuando se le realiza un buen manejo. Un período de descanso muy corto reduce el volumen de pasto disponible para el consumo del ganado.

El periodo de permanencia en cada potrero es el recomendado por Méndez (2008), sin embargo el autor indica que el productor debe observar el pasto y en base a las características del potrero establecer el periodo de permanencia. No debe ocurrir subpastoreo ni sobrepastoreo porque la calidad del forraje se reduce.

La producción de materia verde de este pasto durante la época de verano fue de 12,60 t/ha/año. Al estimar la disponibilidad forrajera y el consumo de materia fresca de una unidad animal (un animal de 400 kg) se obtuvo que el pasto de esta finca tiene la capacidad de manejar 6,75 UA/ha (Anexo 10), por lo que el productor podría aumentar la cantidad de animales de la finca ya que la carga animal actual de la finca es de 1,62 UA/ha.

El pH del suelo es inferior al nivel crítico, esto ocasiona que el aluminio (Al) se solubilice, por lo tanto es más abundante en el suelo y reduce la fertilidad del mismo (Molina 1998). La densidad aparente es la adecuada, ya que permite la circulación del aire y el agua (Rubio 2010). Sin embargo presenta deficiencias de Zinc (Zn) y al igual que en la finca La Dibujada se debe prestar atención al alto contenido de Mn, ya que puede provocar problemas de toxicidad (Anexo 3).

El sistema de alimentación de los animales se basa en el pastoreo, se complementa con el suministro de sal y minerales (Pecutrin®) en una relación 1:1. Además se les suministra a los animales caña forrajera cuando termina la época lluviosa, lo cual es una práctica adecuada, ya que durante la época seca los contenidos de energía del pasto disminuye, por lo que se recomienda la alimentación suplementaria (Méndez 2008).

Los animales se encuentra con un estado de salud adecuado ya que se realizan desparasitaciones cada 3 meses y baños cada vez que se necesiten, a los terneros se les suministra vitaminas una vez al mes y a las vacas adultas se les aplica 2 veces al año. Además, para verificar el estado reproductivo del hato realizan palpaciones periódicas y un examen andrológico una vez al año.

El método reproductivo utilizado es la monta continua y la inseminación artificial. El porcentaje de parición de la finca es 90,72%, el intervalo entre partos es de 13,2 meses y el periodo abierto es de 102,3 días. Estos índices reproductivos son considerados adecuados para el ganado de carne en el trópico, además demuestran que la finca presenta un buen manejo reproductivo, que las hembras están teniendo una buena recuperación después del parto. Los abortos son esporádicos y el periodo de lactancia no repercute sobre el periodo abierto a pesar de que el destete de los animales en la finca se realiza a los 8 meses, a esta edad los animales alcanzan un peso de 240 kg.

Con respecto a los sistemas silvopastoriles, la finca posee 231 árboles dispersos en potreros con una densidad arbórea de 3,25 árboles/ha, entre las especies se encuentran guácimo (*Guazuma ulmifolia*), teca (*Tectona grandis*), guachipelín (*Diphysa americana*), indio pelado (*Bursera simaruba*) y cedro amargo (*Cedrela odorata*). También posee 7,1 km de cercas vivas entre las especies que predominan son el indio desnudo (*B. simaruba*), madero negro (*Gliricidia sepium*) y guachipelín (*D americana*). Además presenta 9,7 ha cubiertas de bosque, entre las especies de árboles que se observaron en el bosque se encuentran: ron-ron (*A. graveolens*), mayo (*Vochysia guatemalensis*), targuá (*Croton gossypifolius*), espavel (*A. excelsum*).

Así mismo la finca cuenta con 3 000 m² de caña forrajera como banco forrajero energético, la cual presentó una producción de 36 t de MV/ha/año, este valor se encuentra por debajo del valor obtenido en la recopilación de datos de producción de forraje para caña de azúcar descritos por diferentes autores, debido a que los productores realizan una cosecha al año (Anexo 5).

5.1.3 Finca Térraba

5.1.3.1 Ubicación

La finca Térraba se ubica entre las coordenadas geográficas 9 4 16.30, -83 16 58.24, en el distrito de Térraba, en el cantón de Buenos Aires, provincia de Puntarenas, Costa Rica. La zona se caracteriza por presentar un clima tropical lluvioso seco, con una época seca de 5 meses y una época lluviosa de 7 meses. Presenta una precipitación anual de 3 513 mm, con una temperatura máxima de 31,9 °C y una mínima de 22,7 °C (IMN 2008).

5.1.3.2 Características generales

Esta finca cuenta con una extensión de 90 hectáreas, de las cuales 56 ha son dedicadas a la ganadería, 30 ha están cubiertas de bosque secundario, 3,7 ha dedicadas a plantaciones de mamón chino (*Nephelium lappaceum*) y 2 500 m² de bancos forrajeros. La topografía del terreno donde se encuentra la finca es ondulada en un 70% y un 30% plana. Los diferentes usos del suelo de la finca se muestran en la Figura 9.

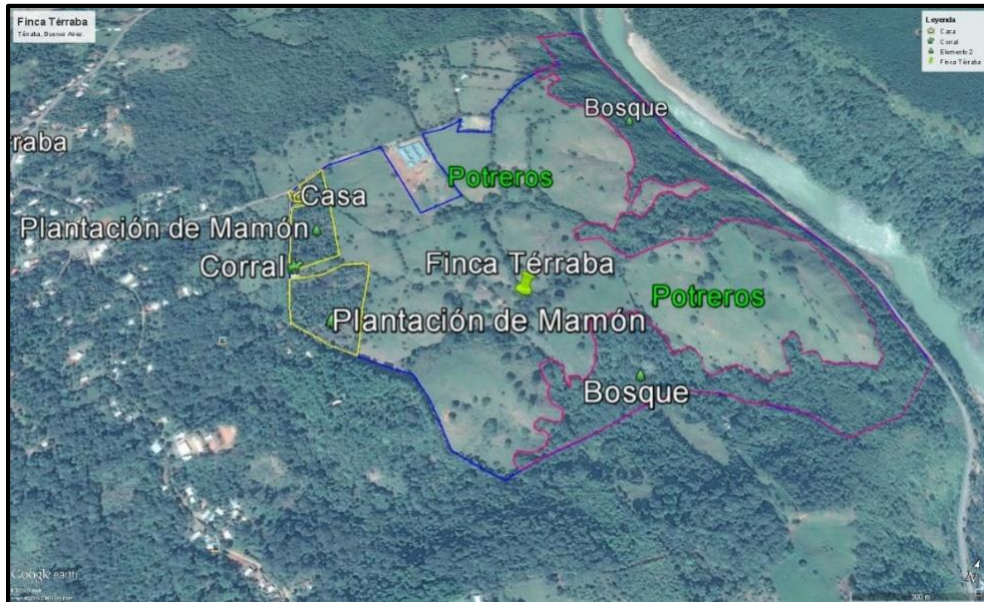


Figura 9. Usos del suelo de la finca Térraba ubicada en Buenos Aires, Puntarenas

El sistema de explotación de la finca es la cría de ganado y cuenta con un hato de 83 animales, la raza predominante es la Brahman. En el Cuadro 15 se observa la estructura de hato de la finca Térraba.

Cuadro 15. Estructura de hato promedio al año de la Finca Térraba

Categoría	Cantidad
Terneros	20
Hembras en crecimiento	19
Machos en crecimiento	0
Hembras adultas	39
Machos adultos	2
Caballos	3
Total:	83

El pasto de piso utilizado es la brizantha, las pasturas están divididas en 19 potreros de 3000 m², 4 potreros con una dimensión de 8 ha y 5 potreros de 6 ha, la permanencia de los animales en cada apartado es de 3-4 días y el periodo de descanso es de 39 días. El periodo de descanso adecuado para el pasto brizantha en el trópico es de 35 a 45 días, periodo en el cual el pasto presenta las características adecuadas para que sea consumido por el ganado (Anzola y Giraldo 2015). En esta finca el periodo de descanso es el suficiente para lograr una máxima cantidad de forraje de durante todo el año, además permite en forma más efectiva el control de parásitos y facilita el control de las malezas.

El periodo de ocupación de los potreros se encuentra dentro del periodo recomendado por Méndez (2008), el cual recomienda periodos de ocupación inferiores a 7 días, ya que cuando el ganado permanece más tiempo del recomendado en un potrero, sobrepasa la altura mínima de pastoreo y consume las órganos donde el pasto acumula los nutrientes de reserva, esto ocasiona que el pasto se recupere de forma lenta y se degrade de manera progresiva.

La producción de biomasa del pasto en materia verde es de 10,47 t/ha/año en época seca, en época lluviosa este pasto genera rendimientos mayores. La carga animal estimada de la finca es de 1,72 UA/ha, al estimar la capacidad de carga de la pastura se obtuvo que el pasto de esta finca tiene la capacidad de manejar 4,03 UA/ha, esta conclusión se obtuvo al estimar la disponibilidad forrajera y el consumo que realiza un animal de 400 kg (una unidad animal) (Anexo 10), con base en el resultado anterior el productor podría aumentar la cantidad de animales en la finca y el pasto no sería afectado.

El análisis de suelo realizado (Anexo 4) muestra que el suelo de la finca es un suelo ácido, ya que el pH es inferior a 5,5, la acidez es superior al 0,5 cmol(+)/L y el contenido de bases está por debajo del nivel mínimo, por lo que es un suelo saturado en un 80,85% por acidez. Además es un suelo con poca fertilidad, ya

que presenta deficiencias de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K) y Zinc (Zn). El problema de acidez y deficiencia de Ca puede enmendarse por medio del encalado (cal dolomita), ya que disminuye la toxicidad por Aluminio (Al) al precipitarlo y aumentar el contenido de Ca. Sin embargo, el suelo presenta una densidad aparente baja por lo que la porosidad del suelo es mayor, esto permite una mejor aireación y drenaje del mismo, además favorece la penetración de las raíces del pasto (Rubio 2010).

La alimentación consiste en el pastoreo por parte de los animales y se les suministra sal y minerales (Calcifos®) en una relación de 2:1. En verano se les suministra caña forrajera, camerún y botón de oro como suplemento forrajero. Con respecto al método de reproducción, la finca utiliza la monta continua durante todo el año. La edad a primer parto de las hembras es de 34,8 meses en promedio, lo que indica que las hembras se preñan a la edad de 2,2 años, edad que se considera adecuada para el ganado del trópico (Sánchez 2010).

Asimismo, el IEP de la finca Térraba es de 14,7 meses en promedio, el periodo abierto es de 162 días y el porcentaje de parición es 81,41%. Tanto el IEP como el periodo abierto de las hembras en producción de la finca superan los valores indicados por Méndez (2008), el cual indica que el IEP no debe superar los 14 meses y el periodo abierto no debe mantenerse más de 100 días, para que los animales permanezcan productivos durante todo el año.

Los índices reproductivos que presenta esta finca indican que las vacas presentan problemas para preñarse, esto se puede deber a que el periodo abierto coincide con la época de verano donde la disponibilidad forrajera disminuye y a la vez los pastos presentan baja calidad nutricional, lo que ocasiona que las vacas no presenten la condición corporal adecuada, tarden más tiempo en la recuperación de reservas corporales y en consecuencia extiende la aparición del celo después del parto.

El destete en la finca se realiza a los 7 meses de edad, con un peso de 220 kg, edad considerada normal para realizarlo (Bavera 2008), por lo que se descarta que la lactancia ocasione que el periodo de anestro posparto se prolongue debido a un bloqueo hormonal causado por la prolactina.

Entre los sistemas silvopastoriles que presenta la finca Térraba se encuentran: 155 árboles dispersos en potreros, con una densidad de 2,77 árboles por hectárea, entre las especies de árboles se encuentran: madero negro, indio desnudo, guachipelín, entre otros. También posee 3,22 km lineales de cercas vivas, 30 ha cubiertas por bosque secundario, el cual está compuesto por diferentes especies de árboles entre ellos: arboles de mayo (*Vochysia*

guatemalensis), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), zapatero (*Hyeronima alchorneoides*), guapinol (*Hymenaea courbaril*), ron-ron (*A. graveolens*), cedro amargo (*Cedrela odorata*), amarillón (*Terminalia amazonia*), maría colorado (*Miconia argentea*), entre otros. La finca también cuenta con 3,7 ha sembradas de árboles frutales como el mamón chino.

Además, posee 2 bancos forrajeros energéticos y un banco de proteína. Entre los bancos energéticos se encuentra 1000 m² de caña forrajera y 1000 m² sembrados de camerún. La producción de forraje obtenida en el banco de caña forrajera fue de 11 t MV/ha/año, este valor se encuentra dentro del rango obtenido en la recopilación de datos de biomasa para este especie (Anexo 5).

Con respecto al banco de camerún, éste presentó un rendimiento de 4,84 t de MV/ha/año, la producción de biomasa de esta especie es inferior al rango obtenido en el resumen de producción de biomasa para este forraje, el cual se muestra el Anexo 8. En cuanto al banco proteico, éste está constituido por 500 m² de botón de oro y presentó una biomasa de 2,4 t de MV/ha/año, este valor también es inferior al promedio obtenido en el Anexo 6, donde se muestra una recopilación de datos de biomasa obtenidos por diferentes autores.

5.2 Estimación de las emisiones de GEI

5.2.1 Finca La Dibujada

5.2.1.1 Identificación de las fuentes de emisión

En la finca La Dibujada las fuentes de emisión son: la fermentación ruminal de los bovinos y la gestión de las excretas; el uso de combustibles y el consumo de electricidad en la finca. En esta finca no se realiza la fertilización de pasturas por lo que no existe emisión de N₂O proveniente de esta fuente.

La finca posee un total de 69 animales los cuales emiten CH₄, y el manejo del estiércol, gases como el CH₄ y N₂O. Con respecto al consumo de combustible, la finca posee un vehículo estilo “pick up”, el cual es utilizado para transportar el alimento balanceado utilizado en el sistema productivo. En cuanto al consumo de electricidad, el único consumo por parte de la finca es la cerca eléctrica utilizada en los potreros.

5.2.1.2 Emisión de CH₄ fermentación entérica

La mayor contribución a la emisión de este gas corresponde a las hembras adultas, esto se debe a que en esta categoría se encuentra una cantidad superior de animales y que estas presentan una mayor emisión de CH₄ en comparación

con los animales en crecimiento (Cuadro 16). Esto es ocasionado porque los animales más jóvenes presentan tasas de conversión de CH₄ inferiores que los animales adultos, ya que poseen menor número y actividad de microorganismos ruminales encargados de la fermentación (Cambra et ál. 2008).

Cuadro 16. Emisión de CH₄ por fermentación entérica (t de CO₂-eq) en la finca La Dibujada

Categorías	N° Animales	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq/animal)	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq)
Terneros	12	0,41	4,91
Hembras crecim.	15	1,34	20,04
Machos crecim.	11	1,39	15,30
Hembras adultas	27	1,80	48,65
Machos adultos	1	2,35	2,35
Caballos	3	0,38	1,13
Total:	69		92,38

5.2.1.3 Emisión de CH₄ producción de excretas

La emisión de CH₄ por producción de excretas en la finca depende de la cantidad de animales presentes en ella, en este caso los animales producen un total de 1,45 t de CO₂-eq, el detalle de la emisión de cada categoría se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Emisión de CH₄ (t de CO₂-eq) por producción de excretas en la finca La Dibujada

Categorías	N° Animales	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq/animal)	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq)
Terneros	12	0,0208	0,25
Hembras crecim.	15	0,0213	0,32
Machos crecim.	11	0,0209	0,23
Hembras adultas	27	0,0211	0,57
Machos adultos	1	0,0200	0,02
Caballos	3	0,0200	0,06
Total:	69		1,45

La mayor emisión de metano es producida por las hembras en producción, esto es ocasionado porque el tamaño del animal influye en la cantidad de materia seca que consume, lo cual está en relación directa con la cantidad total de producción de excretas. Gil (2006) indica que un vacuno excreta por día alrededor del 5 al 6% de su peso vivo y que este posee entre un 80-85% de humedad. Al relacionar la producción de CH₄ entérico con el producido por las excretas se obtiene una relación de 63,71 t de CO₂-eq de forma entérica por tonelada de boñiga.

5.2.1.4 Emisión de N₂O por producción de excretas

La emisión de N₂O por producción de excretas en la finca corresponde a la denitrificación del nitrógeno orgánico presente en el estiércol del ganado, en este sistema productivo existe mayor emisión de óxido nitroso que metano en las excretas (Cuadro 18), esto se debe que el N₂O tiene un PCG más alto que el del CH₄ (Gerber et ál. 2013).

Cuadro 18. Emisión de N₂O (t de CO₂-eq) por producción de excretas en finca La Dibujada.

Categorías	N° Animales	Emisión de N₂O (t CO₂-eq/animal)	Emisión de N₂O (t CO₂-eq)
Terneros	12	0,4075	4,89
Hembras crecim.	15	0,4073	6,11
Machos crecim.	11	0,4072	4,48
Hembras adultas	27	0,4074	11,00
Machos adultos	1	0,4100	0,41
Caballos	3	0,4633	1,39
Total:	69		28,28

5.2.1.5 Emisión de CO₂ por uso de combustible y electricidad en la finca

El consumo de combustible en la finca corresponde al uso de 287,14 litros de gasolina al año con un promedio mensual de 23,92 litros y al uso de 867,13 litros de diésel al año, lo que significa que utilizan 72,26 litros al mes, para una emisión total por parte del uso de combustible de 2,98 t de CO₂-eq al año. El consumo de electricidad corresponde al uso de la cerca eléctrica utilizada para dividir los potreros, el consumo promedio al mes es de 11,40 kW/h, lo que corresponde 0,0004 t de CO₂-eq al mes, para una emisión total al año de 0,0052 t de CO₂-eq.

5.2.1.6 Emisión total de GEI

El mayor aporte de las emisiones es generado por la fermentación entérica realizada por los animales, alrededor del 97% de las emisiones es generado por el factor animal y el restante 2,39% es generado por el uso de combustible y electricidad (Cuadro 19 y Figura 10).

Cuadro 19. Emisión anual de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y dióxido de carbono (CO₂) en t de CO₂-eq de la finca La Dibujada.

Fuente de Emisión	Emisión (t de CO ₂ -eq)	Emisión (%)
Fermentación Entérica (CH ₄)	92,38	73,85
Producción de Excretas (CH ₄)	1,45	1,16
Producción Excretas (N ₂ O)	28,28	22,60
Combustibles (CO ₂)	2,98	2,38
Electricidad (CO ₂)	0,005	0,004
Total	125,09	100,00

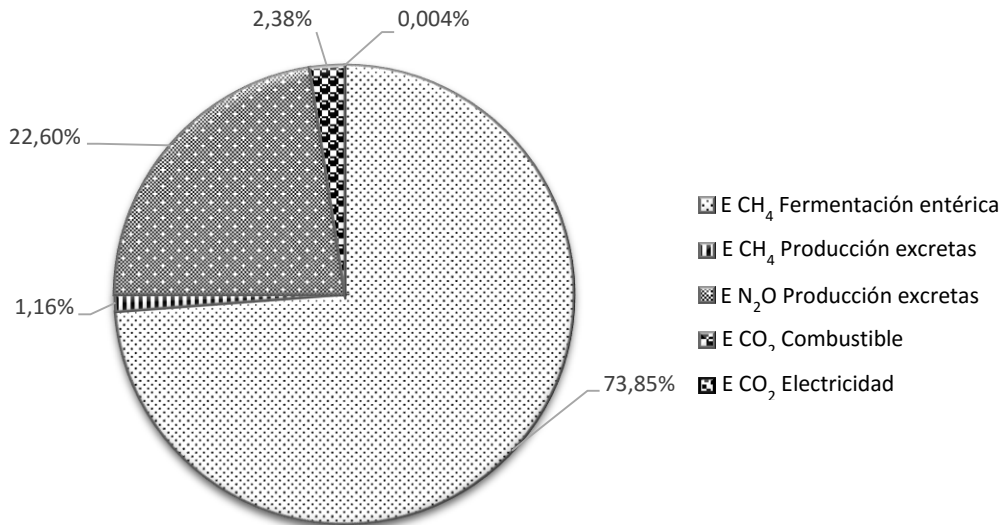


Figura 10. Fuentes de emisión de GEI de la finca La Dibujada, Pilas de Buenos Aires

5.2.2 Finca San Antonio

5.2.2.1 Identificación de las fuentes de emisión

En la finca San Antonio, al igual que la finca anterior, las fuentes de emisión corresponden a la fermentación entérica, el uso de combustibles y el consumo de electricidad en la finca. Con respecto al consumo de combustible, la finca cuenta con un camión para realizar viajes a la subasta ganadera ubicada en Pérez Zeledón, un vehículo estilo “pick up” para transportar el alimento balanceado, cortadoras y bombas de riego para el control de malezas, así como una motocicleta para realizar viajes a la finca debido a que la casa no se encuentra dentro de la misma; tanto la quema de este combustible utilizado en los vehículos como en el equipo de trabajo liberan CO₂. El consumo de electricidad que se genera en la finca corresponde al uso de la cerca eléctrica utilizada en los potreros.

5.2.2.2 Emisión de CH₄ fermentación entérica

Según Broucek (2014) 90% del metano entérico es producido en el rumen y una menor cantidad (10%) es producido por el intestino grueso. El 95% del CH₄ producido en el rumen se libera al ambiente por medio de eructos y del CH₄ producido en el intestino el 89% es eliminado a través de la respiración y 11% a través del ano. El Cuadro 20 muestra como la emisión de CH₄ por fermentación entérica es de 174,19 t CO₂-eq, esto quiere decir que 148,93 t CO₂-eq se excreta por medio de eructos, 15,5 t CO₂-eq por medio de la respiración y 1,91 t CO₂-eq se eliminan por el ano.

Cuadro 20. Emisión de CH₄ por fermentación entérica (t de CO₂-eq) en la finca San Antonio

Categorías	N° Animales	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq/animal)	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq)
Terneros	6	0,408	2,45
Hembras crecim.	22	1,34	29,39
Machos crecim.	1	1,39	1,39
Hembras adultas	75	1,80	135,14
Machos adultos	2	2,35	4,69
Caballos	3	0,38	1,13
Total:	109		174,19

5.2.2.3 Emisión de CH₄ por producción de excretas

La emisión de CH₄ por producción de excretas en la finca depende de la tasa de excreción de los animales y a la cantidad de ganado presente en la finca, en este caso la emisión de metano producida por la producción de excretas representa 1,30% del total del metano producido por el rumiante (Cuadro 21), este dato concuerda con Carmona et ál. (2005) el cual indica que el 2% del total del metano emitido por el ganado vacuno es producido por el manejo de las excretas.

Cuadro 21. Emisión de CH₄ (t de CO₂-eq) por producción de excretas en la finca San Antonio

Categorías	N° Animales	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq/animal)	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq)
Terneros	6	0,0217	0,13
Hembras crecim.	22	0,0209	0,46
Machos crecim.	1	0,0200	0,02
Hembras adultas	75	0,0211	1,58
Machos adultos	2	0,0250	0,04
Caballos	3	0,0200	0,06
Total:	109		2,29

5.2.2.4 Emisión de N₂O por producción de excretas

En la finca la emisión de óxido nitroso por producción de excretas presenta una emisión superior a la emisión de metano producido por esta misma vía, en este sistema productivo existe una relación 20:1 entre la emisión N₂O y CH₄ por manejo del estiércol, esto significa que en el estiércol del ganado cuando se produce una tonelada de CO₂-eq de metano se producen 20 t CO₂-eq de óxido nitroso (Cuadro 22).

Cuadro 22. Emisión de N₂O (t de CO₂-eq) por producción de excretas en la finca San Antonio

Categorías	N° Animales	Emisión de N₂O (t CO₂-eq/animal)	Emisión de N₂O (t CO₂-eq)
Terneros	6	0,406	2,44
Hembras crecim.	22	0,407	8,96
Machos crecim.	1	0,410	0,41
Hembras adultas	75	0,407	30,55
Machos adultos	2	0,405	0,81
Caballos	3	0,463	1,39
Total:	109		44,57

5.2.2.5 Emisión de CO₂ por uso de combustible y electricidad en la finca

La emisión de GEI por la quema de combustible fósiles en la finca San Antonio es de 1,61 t de CO₂-eq al año, esto se debe a que la finca consume 50 litros de diésel al mes, con un consumo anual de 600 litros. En cuanto al uso de electricidad, el uso de la cerca eléctrica utilizada para dividir los potreros en la finca presenta un consumo promedio al mes de 11,40 kW/h, lo que corresponde 0,0004 t de CO₂-eq al mes, para una emisión total al año de 0,0052 t de CO₂-eq.

5.2.2.6 Emisión total de GEI

La emisión total anual de la finca San Antonio corresponden a la emisión de GEI por la fermentación entérica, producción de excretas, el uso de combustible y al consumo de electricidad (Cuadro 23).

Cuadro 23. Emisión de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono en t de CO₂-eq de la finca San Antonio.

Fuente de Emisión	Emisión (t de CO₂-eq)	Emisión (%)
Fermentación Entérica (CH ₄)	174,19	78,23
Producción de Excretas (CH ₄)	2,29	1,03
Producción Excretas (N ₂ O)	44,57	20,02
Combustibles (CO ₂)	1,61	0,72
Electricidad (CO ₂)	0,005	0,002
Total	222,67	100,00

La fermentación entérica es la fuente de emisión que contribuye con el mayor aporte de emisión de GEI, ya que aporta cerca del 78% de emisión del sistema productivo. Además, el factor animal contribuye con el 99% de las emisiones, lo que evidencia que la quema de combustible así como el uso de la electricidad en la finca emiten cantidades mínimas de GEI en comparación a los animales (Figura 11).

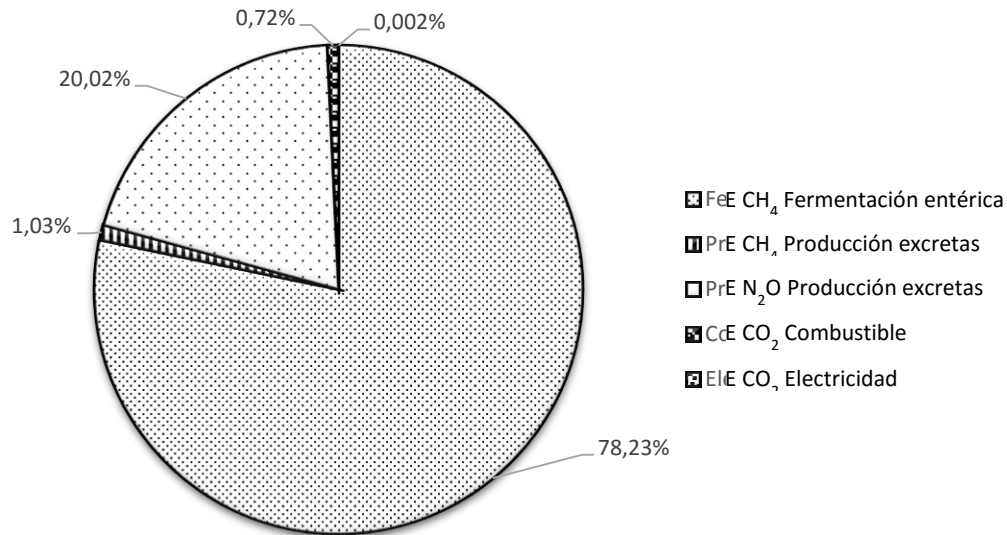


Figura 11. Fuentes de emisión de GEI de la Finca San Antonio, ubicada en Pejibaye, Pérez Zeledón

5.2.3 Finca Térraba

5.2.3.1 Identificación de las fuentes de emisión

Las fuentes de emisión de esta finca son la fermentación entérica, el manejo del estiércol, el uso de combustibles y el consumo electricidad en la finca. Además, la finca posee un vehículo para transportar el alimento balanceado y un camión para el transporte de los animales a la subasta ganadera en Pérez Zeledón, así como el uso de la cerca eléctrica para la división de los potreros.

5.2.3.2 Emisión de CH₄ fermentación entérica

La emisión de CH₄ por parte de los terneros es baja (Cuadro 24), apenas 3,46% del total corresponde a esta categoría, esto se debe a que los animales jóvenes presentan una actividad menor de los microorganismos metanogénicos, además la eliminación de metano vía eructo en el ganado inicia a las cuatro semanas de vida, cuando los alimentos sólidos empiezan a ser retenidos en el retículo-rumen, por lo tanto la fermentación y la producción de gases es baja durante las primeras semanas de edad (Carmona et ál. 2005).

Cuadro 24. Emisión de CH₄ por fermentación entérica (t de CO₂-eq) en la finca Térraba

Categorías	N° Animales	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq/animal)	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq)
Terneros	13	0,409	5,32
Hembras crecim.	38	1,34	50,76
Hembras adultas	51	1,80	91,89
Machos adultos	2	2,35	4,69
Caballos	3	0,38	1,13
Total:	107		153,80

Un bovino adulto emite al año 2,35 t CO₂-eq, mientras que un caballo adulto produce 0,38 t CO₂-eq al año (Cuadro 24), esto ocurre porque en los animales no rumiantes, como los caballos, la fermentación microbiana ocurre en el intestino grueso, el cual posee una capacidad de producción de metano menor que el rumen, sin embargo al igual que en rumiantes la producción de este gas depende de diferentes factores como la cantidad y digestibilidad del alimento consumido (Berra y Finster 2002).

5.2.3.3 Emisión de CH₄ producción de excretas

La emisión de CH₄ por producción de excretas en la finca depende de la tasa de excreción de los animales y a la cantidad de ganado presente en la finca. En esta finca la emisión de metano por fermentación entérica es superior la emisión de metano producto de las excretas (Cuadro 25) debido a que el estiércol posee menor cantidad de metano y cuando la boñiga es depositada sobre las pasturas y los campos naturales tiende a descomponerse de forma aeróbica y produce poco metano (Berra y Finster 2002).

Cuadro 25. Emisión de CH₄ (t de CO₂-eq) por producción de excretas en la finca Térraba

Categorías	N° Animales	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq/animal)	Emisión de CH₄ (t CO₂-eq)
Terneros	13	0,0207	0,27
Hembras crecim.	38	0,0211	0,80
Hembras adultas	51	0,0209	1,07
Machos adultos	2	0,0200	0,04
Caballos	3	0,0200	0,06
Total:	107		2,25

5.2.3.4 Emisión de N₂O por producción de excretas

En esta finca existe una menor emisión de gases por parte de los animales jóvenes (Cuadro 26) debido a que presentan tasas inferiores de excreción (Cambra et ál. 2008) y a la vez existe una mayor emisión de óxido nitroso por manejo del estiércol que emisión de metano, sin embargo la cantidad de óxido nitroso producido es variable, ya que depende de la composición del estiércol y la orina, del tipo de bacterias involucradas en el proceso y de la cantidad de oxígeno y líquido en el sistema de manejo (Berra y Finster 2002).

Cuadro 26. Emisión de N₂O (t de CO₂-eq) por producción de excretas en la finca Terraba

Categorías	N° Animales	Emisión de N₂O (t CO₂-eq/animal)	Emisión de N₂O (t CO₂-eq)
Terneros	13	0,408	5,30
Hembras crecim.	38	0,407	15,48
Hembras adultas	51	0,407	20,77
Machos adultos	2	0,405	0,81
Caballos	3	0,463	1,39
Total:	107		43,76

5.2.3.5 Emisión de CO₂ por uso de combustible y electricidad en la finca

El consumo de combustible en la finca corresponde al uso de 255,32 litros de diésel al año con un promedio mensual de 21,28 litros, y al uso de 48,61 litros de gasolina al año, lo que significa un consumo de 4,05 litros al mes, para una emisión total por parte del uso de combustible de 0,69 t de CO₂-eq al año. Al igual que las fincas anteriores el consumo de electricidad por parte de ésta corresponde al uso de la cerca eléctrica utilizada para dividir los potreros, la cual consume en promedio al mes 11,40 kW/h, lo que corresponde 0,0004 t de CO₂-eq al mes, para una emisión total al año de 0,0052 t de CO₂-eq.

5.2.3.6 Emisión total de GEI

La emisión total anual de la finca Terraba es de 200,51 t de CO₂-eq, de esta emisión de GEI, el 23% corresponde de manera específica al manejo del estiércol, apenas 0,35% corresponde al consumo de combustibles fósiles y electricidad, debido a que el uso de electricidad y la quema de combustible en la finca son reducidos.

Cuadro 27. Emisión de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono en t de CO₂-eq de la finca Térraba

Fuente de Emisión	Emisión (t de CO ₂ -eq)	Emisión (%)
Fermentación Entérica (CH ₄)	153,80	76,71
Producción de Excretas (CH ₄)	2,25	1,12
Producción Excretas (N ₂ O)	43,76	21,82
Combustibles (CO ₂)	0,69	0,34
Electricidad (CO ₂)	0,005	0,003
Total	200,50	100,00

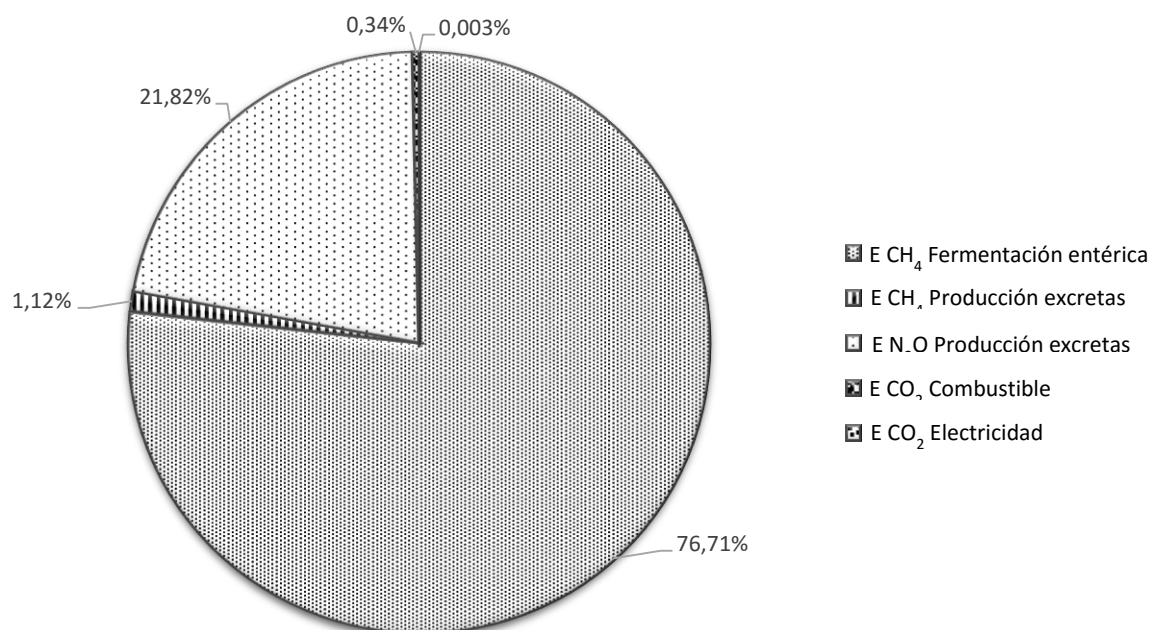


Figura 12. Fuentes de emisión de GEI de la Finca Térraba, ubicada en Buenos Aires, Puntarenas

5.2.4 Comparación de la emisión de GEI de los tres sistemas productivos

En los tres sistemas productivos la fuente de emisión de gases de efecto invernadero con mayor importancia corresponde a la emisión de CH₄ producto de la fermentación entérica, y como conforme se descende en el mismo las fuentes de emisión pierden importancia en términos de emisión de GEI (Cuadro 28). En la finca La Dibujada a diferencia de los otros dos sistemas presenta la característica de que existe una emisión superior de CO₂ producido por la quema de combustible que la emisión de CH₄ por producción de excretas, por lo tanto esta finca cuenta con la posibilidad de reducir las emisiones de GEI al disminuir el uso de actividades que conllevan la quema de combustibles fósiles.

Cuadro 28. Emisión total de gases de efecto invernadero en porcentaje (%) de la finca La Dibujada, San Antonio y Térraba

Fuente	La Dibujada	San Antonio	Térraba
	Emisión (%)		
Fermentación Entérica (CH ₄)	73,84	78,22	76,70
Producción Excretas (N ₂ O)	22,60	20,01	21,82
Producción Excretas (CH ₄)	1,16	1,03	1,12
Combustibles (CO ₂)	2,38	0,72	0,34
Electricidad (CO ₂)	0,01	0,01	0,01
Total	100,00	100,00	100,00

Los resultados mostrados también dejan en evidencia que el componente animal en los sistemas productivos son los mayores emisores de GEI, ya que en las tres fincas evaluadas este componente aporta más del 97% de la emisión total. La situación encontrada en los tres sistemas productivos reflejan la realidad de la situación nacional que según FAO (2015) en Costa Rica el 83,4% de la emisión de gases de efecto invernadero del sector agropecuario corresponde al factor animal.

5.3 Estimación de la captura de CO₂

5.3.1 Finca La Dibujada

5.3.1.1 Captura de CO₂ por cercas vivas

El componente de cerca viva que corresponde a 2,7 km lineales, contribuye al sistema finca con un aporte de 135,8 toneladas de biomasa aérea y con la captura de 248,16 t de CO₂-eq. En cuanto a la fijación anual, las cercas vivas contribuyen con 9,93 t de CO₂-eq y 3,4 t de CO₂-eq/km/año (Figura 13). El valor de fijación de CO₂ anual es similar al encontrado por Arronis y Mora (2011), los cuales obtuvieron que las cercas vivas capturan 10,3 t CO₂-eq/año en un estudio realizado en una finca agroforestal en la región Brunca. En cuanto a la fijación de carbono por kilómetro lineal las cercas vivas de esta finca contribuye con la mitigación de 25,04 t de C/km, este valor es superior al encontrado por Hassán et ál. (2015) en un estudio realizado en cercas vivas establecidas en fincas ganaderas en Panamá, los cuales encontraron que la cerca viva simple (de 1 a 2 especies) captura 10,69 t C/km y la cerca viva múltiple (más de 3 especies) captura 17,81 t C/km.



Figura 13. Cercas vivas de la finca La Dibujada, Pilas de Buenos Aires

5.3.1.2 Captura de CO₂ por bosque

Al realizar las parcelas concéntricas en el bosque de la finca La Dibujada se midió las características dasométricas de los árboles y se obtuvo que éste presenta una estructura discetánea (Figura 14), la cual se caracteriza por presentar árboles que se distribuyen en varios tamaños y clases diamétricas (Arronis y Mora 2011) (Figura 15).

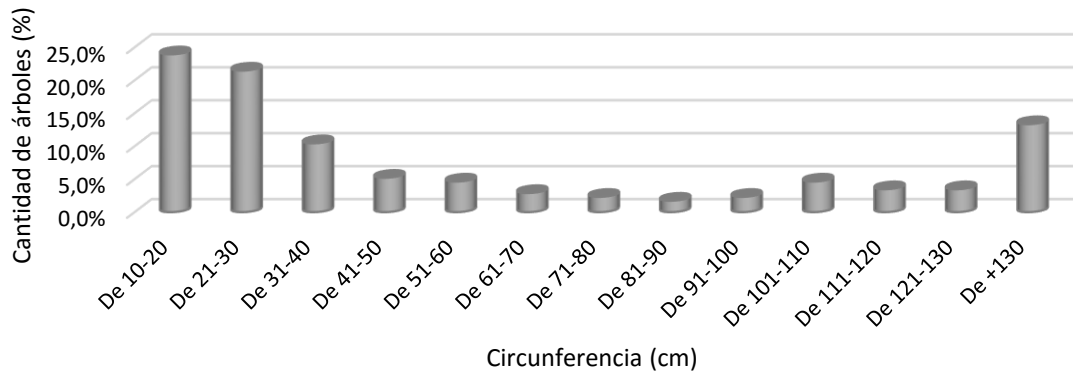


Figura 14. Circunferencia de los árboles del bosque secundario de la finca La Dibujada, Pilas de Buenos Aires

Alrededor del 45% de los árboles de este bosque presentan circunferencias entre 10 y 30 cm, lo que evidencia un alto potencial de remoción de carbono atmosférico por parte del bosque, ya que durante la etapa vegetativa o de crecimiento de los árboles la actividad de captura es mayor; mientras que en la etapa adulta y madura de los árboles la fijación de CO₂ se reduce. Sin embargo, estudios realizados por Jobsec (2008) muestran la importancia que tienen los árboles de mayor tamaño para conservar reservas de carbono, por lo que es importante la protección de estos árboles. La Figura 15 muestra los diferentes grosores de los troncos encontrados en el bosque secundario de la finca La Dibujada.



Figura 15. Diferentes grosores de troncos de árboles del bosque secundario de la finca La Dibujada, Pilas de Buenos Aires

Al realizar las estimaciones de fijación de CO₂ por bosques secundarios en la finca La Dibujada se obtuvo que las 12 ha de este componente aportan 5 063,60 toneladas de biomasa aérea y capturan 9 291,71 t de CO₂-eq en toda la vida. En cuanto al secuestro anual de CO₂ el bosque secundario contribuye con 185,83 t de CO₂-eq (Cuadro 29).

Cuadro 29. Estimación de la biomasa, captura de carbono (t de C/ha) y captura de CO₂ (t de CO₂-eq/ha) por parte del bosque secundario de la finca La Dibujada

Categoría	Cantidad
Biomasa (t/ha)	421,97
Captura de C (t de C/ha)	210,98
Captura CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha)	774,31
Captura CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha/año)	15,49

El bosque secundario de la finca La Dibujada presenta una biomasa de 421,97 t/ha, un valor inferior al encontrado por Arronis y Mora (2011) en una finca agroforestal en la región Brunca de Costa Rica, donde el contenido de biomasa del bosque evaluado presentó de 485,1 t/ha. Sin embargo, es superior a los valores descritos por Corrales (1998), el cual encontró 140 t/ha de biomasa en bosques secundarios en la zona de vida húmeda tropical y 162,1 t/ha en bosques secundarios en la zona muy húmeda tropical, en Costa Rica.

Además, en un estudio realizado en México por Hughes et ál. (1999), los autores encontraron una biomasa promedio de 272,1 t/ha en un bosque secundario de 16 años de edad en la región húmeda tropical. Los valores de biomasa encontrados por los autores anteriores son inferiores a los encontrados en la finca La Dibujada, esto se podría relacionar a que el bosque secundario de esta finca presenta mayor edad (50 años) de establecido que los bosques antes mencionados, ya que la biomasa de los árboles en los bosques aumenta de manera gradual conforme aumenta la edad del bosque (Mena 2008).

Así mismo, Segura (1999) encontró valores de biomasa entre 69 y 122 t/ha, estos valores son inferiores a los obtenidos en la finca La Dibujada. En otro estudio realizado por Fonseca et ál. (2008) en la zona Caribe de Costa Rica, los bosques secundarios presentaron una biomasa total de 28,9 t/ha a los 5 años y 67,9 t/ha a los 18 años, estos valores son inferiores a los encontrados en la finca en estudio.

En cuanto a la captura de carbono, en un estudio realizado por Segura (1999) en la cordillera central de Costa Rica la captura de carbono por bosques secundarios varió entre 32 a 55 t C/ha, valores inferiores a los encontrados en la finca en estudio. Además, en un análisis realizado por Ibrahim et ál. (2007) en Esparza, Costa Rica se encontró que el bosque secundario captura 90,8 t de C/ha, y en otros estudios realizados en bosques húmedos en Centroamérica se indican valores de captura de carbono entre 145,6 y 183,2 t C/ha en Nicaragua (Lagos y Venegas 2003) y 104,80 t C/ha en Guatemala (Arreaga 2002). Estos valores son inferiores a los obtenidos en la finca La Dibujada, a pesar de que en estos estudios estiman la captura de carbono en los cuatros componentes: biomasa sobre el suelo, hojarasca, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo, mientras que en la finca en estudio se estimó la captura de carbono por la biomasa sobre el suelo.

5.3.1.3 Captura de CO₂ por pasturas

Al realizar el doble muestreo en el pasto brizantha se obtuvo un rendimiento de biomasa en materia seca de 8,9 t/ha/año, al estimar el contenido de carbono presente en la biomasa se obtuvo que el pasto fija 1,78 t de carbono/ha, a la vez captura 6,53 t de CO₂-eq/ha, por lo que colabora con un aporte de 208,06 t de CO₂-eq/año en toda la finca.

Con respecto a la producción de forraje de la finca este valor es inferior al descrito por Arronis (2004) el cual indica que este pasto en la región Brunca produce 30 t de MS/ha/año, sin embargo este valor se encuentra dentro del rango obtenido (8-30 t MS/ha/año) en la recopilación de datos de producción de forraje y composición nutricional indicado por diferentes autores (Anexo 9).

En cuanto a la captura de carbono, el valor obtenido es similar al indicado por Ibrahim et ál. (2007), el cual encontró una captura de carbono de 1,63 t/ha en potreros mejorados con árboles en Esparza, Costa Rica. Así mismo coincide con el valor encontrado por Torres et ál. (2010), los cuales estimaron una captura de 1,78 t de C/ha en potreros sin árboles en México. Sin embargo Ruiz (2002) indica valores superiores de captura de carbono (2,51 t de C/ha) en pastos mejorados en Matiguás, Nicaragua.

5.3.1.4 Captura de CO₂ por árboles dispersos en potreros

La fuente de captura de árboles dispersos en potreros contribuye en el sistema finca con el aporte de 118,36 toneladas de biomasa, las cuales capturan 217,20 t de CO₂-eq y la remoción de CO₂ por hectárea es de 6,83 t CO₂-eq.

Esta finca cuenta con 40 árboles dispersos en toda la finca, con una densidad de 1,26 árboles/ha (Figura 16). La biomasa aérea que presenta este componente es de 3,72 t/ha, este valor se encuentra dentro de los valores indicados por Chacón y Alice (2013), los cuales estimaron la biomasa arriba del suelo de árboles dispersos en potreros en diferentes fincas de Costa Rica y Nicaragua y obtuvieron valores de biomasa entre 0,9-45,4 t/ha, las diferencias se deben a que las fincas poseían mayor densidad de árboles (hasta 74,5 árboles/ha) ya que el área basal de los árboles era muy similar a la que presentaban los árboles en la finca La Dibujada.



Figura 16. Árboles dispersos en potreros finca La Dibujada, Pilas de Buenos Aires

Este valor de biomasa también es similar al obtenido por Ibrahim et ál. (2007) para zonas de vida de bosque húmedo en Esparza en Costa Rica, donde los valores encontrados se encuentran entre 3,2 a 14,2 t/ha en árboles dispersos en potreros. Sin embargo este valor es inferior al encontrado por Ruiz (2002), el cual indica valores de biomasa entre 19,0 y 29,1 t/ha para árboles dispersos en potreros en Matiguás, Nicaragua.

Con respecto al carbono almacenado en la biomasa, este componente presenta una captura de 1,86 t C/ha, un valor superior al obtenido por Ibrahim et ál. (2007), los cuales estimaron 1,6 t/ha en potreros mejorados con baja densidad de árboles (menos de 30 árboles/ha). Sin embargo, la captura de carbono es

inferior al descrito por Nahed et ál. (2012) los cuales indican una captura de carbono de 3 t/ha para arboles dispersos en potreros en México, esto se debe a que la densidad de árboles (12,3 árboles/ha) es superior a la que presenta la finca La Dibujada.

5.3.1.5 Captura de CO₂ por bancos forrajeros

Al estimar la captura de CO₂ por parte de los bancos forrajeros, se obtuvo que la biomasa aérea del banco forrajero energético y del proteico en conjunto capturan 18,37 t de CO₂-eq al año (Cuadro 30).

Cuadro 30. Captura de carbono (t de C/ha) y CO₂ (t de CO₂-eq) de cada uno de los bancos forrajeros y captura total de CO₂ (t de CO₂-eq) de la finca La Dibujada

Tipo de Banco Forrajero	Captura de carbono (t de C/ha)	Captura de CO₂ (t de CO₂-eq/ha)	Captura de CO₂ (t de CO₂-eq/año)
Caña Forrajera	26,25	96,34	9,63
Botón de Oro	27,60	101,29	5,06
Cratylia	20,00	73,40	3,67
Total		271,03	18,37

La captura de carbono por parte del banco forrajero de caña captura 26,25 t de C/ha, este dato es similar al valor indicado por CATIE y MAG (2010), 26,32 t de C/ha en bancos forrajeros de gramíneas en la región Chorotega. En este mismo estudio los autores estimaron valores de captura de carbono en bancos forrajeros de leñosas, los cuales son inferiores a los obtenidos en la finca La Dibujada.

Así mismo, en otro estudio realizado por Ibrahim et ál. (2007), los autores encontraron valores de captura de 6,01 t de C/ha por parte de bancos forrajeros de gramíneas en Matiguás, Nicaragua, un valor inferior al encontrado para la finca La Dibujada. Los diferentes tipos de bancos forrajeros con los que cuenta la finca La Dibujada se muestra en la Figura 17.



Figura 17. Banco proteico de caña forrajera y banco energético de cratylia de la finca La Dibujada, Pilas de Buenos Aires

5.3.1.6 Captura de CO₂ por parte del suelo

Al realizar las estimaciones de carbono orgánico en el suelo en el área cubierta por pasturas se evidenció que el suelo es un gran sumidero de carbono. En la finca La Dibujada el contenido de carbono en el suelo alcanzó las 30,25 t/ha, lo que corresponde a 111,00 t de CO₂-eq/ha, con una contribución de 4,44 t de CO₂-eq/ha al año. El contenido total de carbono en el suelo en las 31,8 ha cubiertas de pasto es de 3529,84 t de CO₂-eq.

5.3.1.7 Captura total de CO₂

Una vez estimada la fijación de CO₂ por cada componente se procedió a sumar la contribución de cada fuente (Cuadro 31). La fuente que corresponde al suelo presentó una cantidad importante de carbono en la finca, esto evidencia que los suelos son una forma viable de compensación de los daños provocados por la emisión de CO₂, sin embargo la captura de CO₂ por hectárea es menor a la captura realizada por bosques secundarios.

Cuadro 31. Estimación de la captura de CO₂ en la biomasa de las diferentes fuentes de captura de la finca La Dibujada

Uso del suelo	Captura de CO ₂ (t de CO ₂ -eq)	Captura CO ₂ (t de CO ₂ - eq/ha/año)	CapturaCO ₂ anual (t de CO ₂ - eq/año)
Cercas vivas	248,16	3,40*	9,93
Bosque secundario	9291,71	15,49	185,83
Pasturas		6,53	208,06
Árboles en potreros	217,20	0,27	8,69
Bancos forrajeros			18,37
Suelos	3529,84	4,44	141,19
Total			572,07

*El valor mostrado corresponde t de CO₂-eq/Km/año

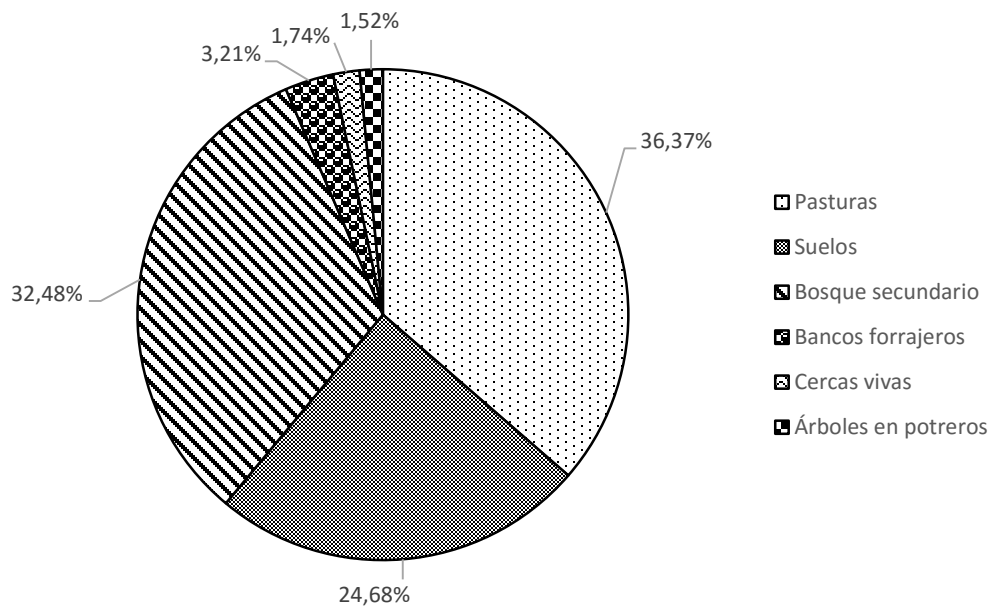


Figura 18. Captura total de CO₂ (%) de la finca La Dibujada, Buenos Aires

La mayor captura del total de CO₂ capturado fue fijado por los pastos (Figura 18) esto se debe a que el área cubierta por pastos es mayor ya que supera en 2,7 el área cubierta por bosque. Los árboles en potreros capturaron CO₂ en menor medida, sin embargo no se considera a los árboles menos importantes en la mitigación de CO₂, ya que esto se debe a la baja densidad de árboles dispersos en potreros que presenta la finca.

5.3.2 Finca San Antonio

5.3.2.1 Captura de CO₂ por cercas vivas

El componente cerca viva contribuye al sistema finca con un aporte de 726,30 toneladas de biomasa y con la captura de 1329,14 t de CO₂-eq. En cuanto a la fijación anual las cercas vivas contribuyen con 53,17 t de CO₂-eq, lo que significa la captura de 7,49 t de CO₂-eq/km/año. Un ejemplo de las cercas vivas que posee la finca San Antonio se muestra en la Figura 19.



Figura 19. Cercas vivas de la finca San Antonio, Pejibaye de Pérez Zeledón

El valor de captura de CO₂ de la finca San Antonio (187,68 t CO₂-eq/km) es inferior a los valores encontrados por Corrales (2013) en una finca en la zona de Turrialba, el cual estimó la captura 1089 t de CO₂/km. En cuanto a la captura de carbono el componente cerca viva contribuye con 51,14 t C/km, el valor obtenido es superior a los valores encontrados por Daza (2013), el cual obtuvo valores de captura en cercas vivas del corredor biológico Cordillera Central-Talamanca entre 4,9 t C/km y 2,26 t C /km.

5.3.2.2 Captura de CO₂ por bosque

Al ingresar al bosque secundario de la finca San Antonio, se realizaron las parcelas permanentes de muestreo y se midió la altura y circunferencia de los árboles (Figura 20). El bosque evaluado presentó árboles de diferentes tamaños y grosores de tronco. Además, 35% de los árboles presentan circunferencias entre 10 y 30 cm y conforme aumenta el grosor del tronco la cantidad de árboles empieza a disminuir.

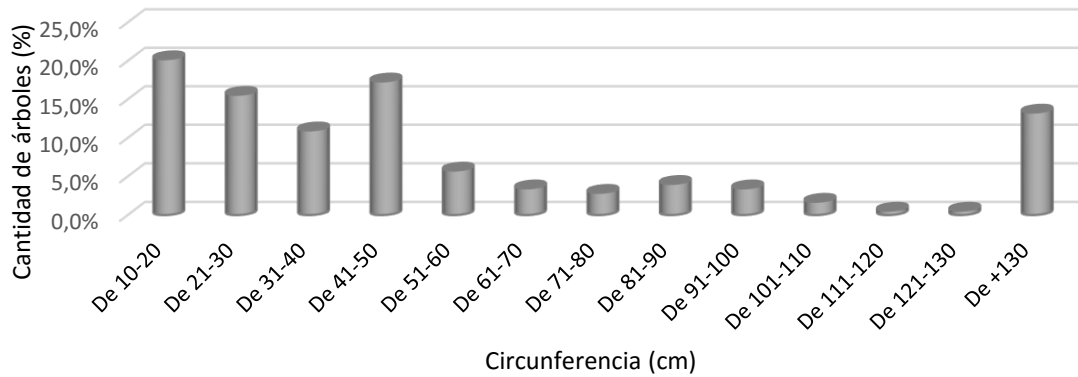


Figura 20. Circunferencia de los árboles del bosque secundario de la finca San Antonio, Pejibaye de Pérez Zeledón

Este bosque también presenta una cantidad importante de árboles con grosores entre 130 y 400 cm (Figura 20), esto evidencia que son árboles con más de 50 años de establecidos. En esta finca se protegen y conservan los árboles, ya que conocen la importancia que tienen para conservar reservas de carbono. En la Figura 21 se muestran dos ejemplos de las copas de los árboles del bosque.



Figura 21. Densidad de las copas de los árboles del bosque secundario de la finca San Antonio, Pejibaye de Pérez Zeledón

Al realizar las estimaciones de fijación de CO₂ por bosques secundarios en la finca San Antonio se obtuvo que las 9,7 ha de este componente aportan 4139,46 toneladas de biomasa aérea y capturan 7 595,90 t de CO₂-eq en toda la vida. En cuanto al secuestro anual de CO₂ el bosque secundario contribuye con 151,92 t de CO₂-eq (Cuadro 32).

Cuadro 32. Estimación de la biomasa, captura de carbono (t de C/ha) y captura de CO₂ (t de CO₂-eq/ha) por parte del bosque secundario de la finca San Antonio

Categoría	Cantidad
Biomasa (t/ha)	426,75
Captura de C (t de C/ha)	213,37
Captura CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha)	783,08
Captura CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha/año)	15,66

El bosque secundario de la finca San Antonio presenta una biomasa de 426,75 t/ha, un valor superior al encontrado por Fonseca et ál. (2008) (28,1-71,2 t/ha) en bosques secundarios en Guácimo, Limón. Los valores de biomasa indicados por los autores anteriores son inferiores a los encontrados en la finca San Antonio, a pesar de que los autores estimaron la biomasa aérea, radicular y la necromasa.

Asimismo, es superior a los valores indicados por Corrales (1998), el cual encontró 140 t/ha de biomasa en bosques secundarios en la zona de vida húmeda tropical y 162,1 t/ha en bosques secundarios en la zona muy húmeda tropical, en Costa Rica. En un estudio realizado en una finca ganadera en Venezuela, el bosque primario mostró valores de biomasa de 290 t/ha, lo cual es inferior a la Finca San Antonio, a pesar de tratarse de bosques primarios (Mesa 2009).

En cuanto a la captura de carbono, en un estudio realizado por Segura (1999) en la cordillera central de Costa Rica la captura de carbono por bosques secundarios varió entre 32 a 55 t C/ha, valores inferiores a los encontrados en la finca en estudio. Además, este valor (213,37 t C/ha) es superior al valor estimado por CATIE y MAG (2010), los cuales mencionan que los bosques secundarios evaluados presentaron en promedio una captura 91,9 t de C/ha en la biomasa aérea. Así mismo es superior a los valores descritos por Fonseca et ál. (2008), los cuales obtuvieron una captura de 144,00 t de C/ha en bosques primarios de Venezuela.

5.3.2.3 Captura de CO₂ por pasturas

El rendimiento de biomasa del pasto brizantha fue de 11,9 t de MS/ha/año, el contenido de carbono presente en la biomasa aérea fue de 2,22 t de carbono/ha, y captura 8,14 t de CO₂-eq/ha, por lo tanto colabora con un aporte de 577,94 t de CO₂-eq/año en toda la finca.

La producción de forraje de la finca es inferior al encontrado por Bobadilla y Benítez (2013) los cuales estimaron una producción de 30,1 t de MS por hectárea del pasto brizantha en el trópico, al valor mencionado por Ruíz (2002) el cual indicó 25 t de producción de materia seca por hectárea en Nicaragua, e inferior al obtenido por Arronis (2004) el cual indica que este pasto en la región Brunca produce 30 t de MS/ha/año.

En cuanto a la captura de carbono, el valor obtenido es inferior al indicado por CATIE y MAG (2010), los cuales obtuvieron la captura de 4,97 t de C/ha en pasturas mejoradas sin árboles en la Región Chorotega, sin embargo es inferior al valor descrito por los mismos autores para pasturas mejoradas con baja densidad de árboles (menos de 30 árboles/ha), las cuales capturan 11,97 t de C/ha.

5.3.2.4 Captura de CO₂ por árboles dispersos en potreros

El componente árboles dispersos en potreros contribuye en el sistema finca con el aporte de 256,07 toneladas de biomasa, las cuales capturan 470,26 t de CO₂-eq y la remoción de CO₂ por hectárea es de 6,62 t CO₂-eq.

Esta finca cuenta con 231 árboles dispersos en toda la finca, con una densidad de 3,25 árboles/ha en promedio ya que existen potreros con alta densidad de árboles dispersos y otros con menor cantidad de árboles como se muestra en la Figura 22.



Figura 22. Descripción de los potreros de la finca San Antonio con baja y alta densidad de árboles dispersos

La biomasa aérea de este componente es de 3,61 t/ha, este valor se encuentra dentro de los valores encontrados por Chacón y Alice (2013) (0,9-45,4 t/ha), en diferentes potreros de Costa Rica y Nicaragua, las diferencias se deben a que las fincas poseían mayor densidad de árboles (hasta 74,5 árboles/ha). Sin embargo, es inferior a pasturas con árboles dispersos en potreros en la Región Chorotega (30,82 t/ha) (CATIE y MAG 2010), e inferior a la biomasa en arboles

dispersos en la región Brunca, sin embargo este valor (7,0 t/ha) contempla la biomasa aérea como la radicular (Arronis y Mora 2011).

El carbono almacenado en la biomasa fue de 1,80 t C/ha, un valor superior al obtenido por Torres et ál. (2011) (1,46 t C/ha) en potreros con árboles dispersos. Sin embargo, es inferior a los resultados obtenidos por Mora (2001) en Turrialba y Arronis y Mora (2011) en la región Brunca los cuales indicaron una captura de carbono de 2,21 t C/ha y de 3,5 t C/ha respectivamente.

5.3.2.5 Captura de CO₂ por bancos forrajeros

El banco forraje de caña de azúcar que posee la finca San Antonio presenta una captura de 19,82 t de CO₂-eq al año, 18,00 t C/ha/año, esto quiere decir que captura 66,06 t de CO₂-eq/ha. La captura de carbono que presenta este banco es similar al descrito por Amezcuita et ál. (2008) los cuales indicaron que un banco forrajero puede almacenar hasta 18,0 t C/ha en la biomasa; y es superior al encontrado por Corrales (2013) el cual reportó una captura de 11,31 t C/ha en un banco forrajero de caña de azúcar en la zona de Turrialba. Sin embargo es inferior al valor indicado por CATIE y MAG (2010), quienes encontraron la captura de 26,32 t de C/ha en bancos forrajeros de gramíneas en la región Chorotega.

5.3.2.6 Captura de CO₂ por parte del suelo

Al realizar las estimaciones de carbono orgánico en el suelo en el área correspondiente a pasturas en la finca San Antonio, se obtuvo 18,09 toneladas de carbono orgánico en el suelo, lo que corresponde a 66,40 t de CO₂-eq/ha, por lo que contribuye con 2,66 t de CO₂-eq/ha al año.

5.3.2.7 Captura total de CO₂

Una vez estimada la fijación de CO₂ de cada fuente que compone el sistema finca se realizó la sumatoria total (Cuadro 33). Los pastos presentan mayor importancia en cuanto a la fijación de CO₂ al año en la finca San Antonio, esto evidencia que los pastos constituyen un componente importante en el balance global de CO₂, al capturar el dióxido de carbono y fijarlo mediante la fotosíntesis. Los bancos forrajeros presenta un mayor secuestro de CO₂ por área, sin embargo como el área dedicada al establecimiento de éstos es inferior al área dedicada a pasturas al medir la captura de CO₂ al año las pasturas presentan un secuestro de carbono atmosférico mayor.

Cuadro 33. Estimación de la captura de CO₂ de los diferentes usos del suelo y captura total en t de CO₂-eq de la finca San Antonio

Uso del suelo	Captura total de CO ₂ (t de CO ₂ -eq)	Captura CO ₂ por área (t de CO ₂ -eq/ha/año)	CapturaCO ₂ anual (t de CO ₂ -eq/año)
Cercas vivas	1329,14	7,49*	53,17
Bosque secundario	7595,90	15,66	151,92
Pasturas		23,11	577,94
Árboles en potreros	470,26	0,26	18,81
Bancos forrajeros			19,82
Suelos	4714,36	2,66	188,57
Total			1010,23

*El valor mostrado corresponde t de CO₂-eq/Km/año

Alrededor del 15% del total de CO₂ capturado fue fijado por el bosque secundario que mantiene y protege la finca (Figura 23), lo que indica que los sistemas forestales son un componente importante en la mitigación de carbono atmosférico, además ayudan a conservar la biodiversidad y a purificar el agua (FAO 2008).

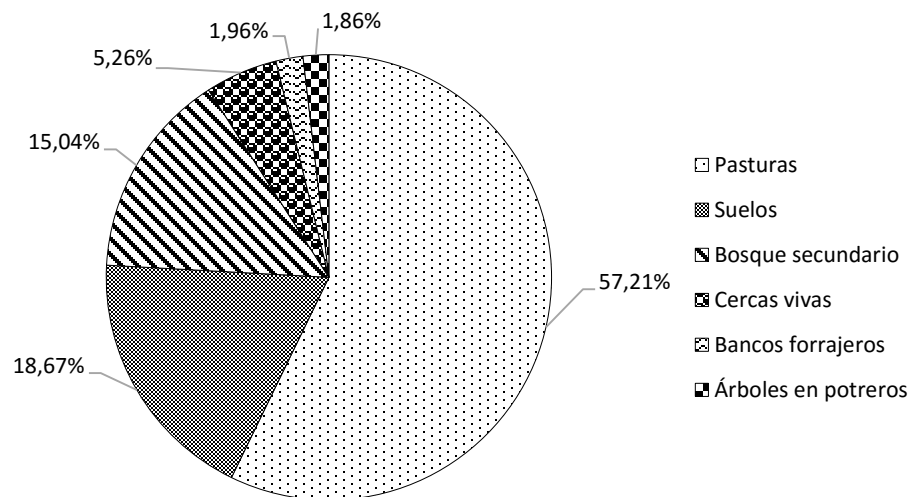


Figura 23. Captura total de CO₂ (%) al año de la finca San Antonio, Pejibaye de Pérez Zeledón.

5.3.3 Finca Térraba

5.3.3.1 Captura de CO₂ por cercas vivas

El componente cerca viva presenta 288,76 toneladas de biomasa y ésta captura 528,42 t de CO₂-eq. En cuanto a la fijación anual las cercas vivas contribuyen con 21,14 t de CO₂-eq y 6,56 t de CO₂-eq/km/año. La finca Térraba cuenta con diferentes densidades de cercas vivas, algunas se caracterizan por árboles con troncos delgados y con pocas ramas, y otras están compuestas por arboles altos, con troncos gruesos y ramas frondosas (Figura 24).



Figura 24. Cercas vivas de la finca Térraba, Buenos Aires

La biomasa y captura de CO₂ de la finca Térraba es superior a los valores encontrados por Arronis y Mora (2011) en una finca agroforestal en la región Brunca (112,3 toneladas y 205,9 t de CO₂-eq respectivamente). Así mismo, la captura de carbono del componente cerca viva fue de 44,84 t de C/km, este valor es superior a los valores obtenidos por Hassán et ál. (2015) en fincas ganaderas en Panamá, donde encontraron que la cerca viva establecida captura entre 10,69 y 17,81 t de C/km.

5.3.3.2 Captura de CO₂ por bosque

Al ingresar al bosque secundario de la finca Térraba y medir las características dasométricas de los árboles se obtuvo que el bosque presenta una estructura discetánea, la cual se caracteriza por presentar árboles que se distribuyen en varios tamaños y clases diamétricas (Arronis y Mora 2011) (Figura 25).



Figura 25. Bosque secundario de la finca Térraba, Buenos Aires

La mayoría de los árboles tiene un grosor de tronco entre los 10 y 20 cm, esto quiere decir que son árboles que se encuentran en crecimiento, etapa durante la cual presentan el mayor potencial de captura de CO₂, lo que favorece a una mayor tasa de captura de CO₂ por parte del bosque (Figura 26)

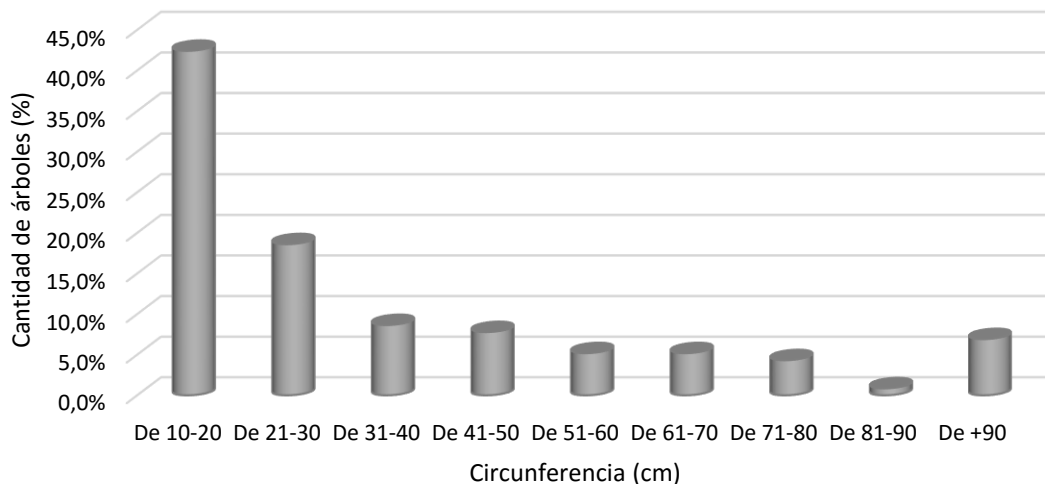


Figura 26. Circunferencia de los árboles del bosque secundario de la finca Térraba, Buenos Aires

El bosque secundario de la finca Térraba presentó un aporte de 5507,06 toneladas de biomasa y la captura de 10 105,45 t de CO₂-eq en toda la vida. En cuanto a la secuestro de CO₂ anual los bosques contribuyeron con 202,11 t de CO₂-eq, esto quiere decir que capturan 6,74 t de CO₂-eq/ha/año (Cuadro 34).

Cuadro 34. Estimación de la biomasa, captura de carbono (t de C/ha) y captura de CO₂ (t de CO₂-eq/ha) por parte del bosque secundario de la finca Térraba

Categoría	Cantidad
Biomasa (t/ha)	183,57
Captura de C (t de C/ha)	91,78
Captura CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha)	336,85
Captura CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha/año)	6,74

El bosque secundario de la finca Térraba presenta una biomasa superior a la indicada por Corrales (1998), el cual obtuvo 140 t/ha y 162,1 t/ha de biomasa en bosques secundarios húmedos tropicales y bosques secundarios muy húmedos tropicales de Costa Rica respectivamente. Así mismo, presentó mayor biomasa que la obtenida por Segura (1999) (69 y 122 t/ha en bosques secundarios de la cordillera de Central) y por Fonseca et ál. (2008) en la zona Caribe de Costa Rica (28,9 t/hay 67,9 t/ha). Esta situación se podría relacionar con la densidad

arbórea (número de árboles/ha), ya que la finca Térraba presentaba una vegetación muy densa, lo que ocasiona una mayor biomasa por hectárea.

En cuanto a la captura de carbono, los resultados obtenidos en la finca Térraba coinciden con los datos encontrados por Ibrahim et ál. (2007) en un estudio realizado en Esparza, Costa Rica (90,8 t de C/ha) y con CATIE y MAG (2010) (91,9 t C/ha en promedio) en 16 fincas dedicadas a la ganadería en la región Chorotega de Costa Rica. Además, es superior al obtenido por Ibrahim et ál. (2007), en bosques de Nicaragua (23,0 t de C/ha) e inferiores a los encontrados por Lagos y Venegas (2003) (145,6 y 183,2 t C/ha) en Nicaragua. Esto se debe a que Lagos y Venegas (2003) estimaron la biomasa aérea y en la hojarasca, mientras que en la finca Térraba la fijación de carbono solo corresponde a la biomasa aérea. En otro estudio realizado por Fonseca et ál. (2008) en la zona Caribe de Costa Rica, el bosque capturó en total 154,9 t C/ha, este resultado es superior al de la finca en estudio debido que el carbono capturado corresponde tanto a la biomasa aérea, la necromasa, raíces y el carbono presente en el suelo.

5.3.3.3 Captura de CO₂ por pasturas

La producción forrajera del pasto brizantha fue de 8,98 t de MS/ha/año, el contenido de carbono presente en la biomasa fue de 1,80 t de carbono/ha, la captura de CO₂ fue 6,59 t CO₂-eq/ha y colabora con un aporte de 369,11 t de CO₂-eq/año en toda la finca.

La producción de forraje se encuentra dentro de los valores indicados por Peters et ál. (2003), (8 a 20 t de MS/ha/año en el trópico), sin embargo es superior a los valores indicados por Guiot (2005) y Ávila (2000), los cuales mencionan rendimientos de producción de 8 y 4,08 t de MS/ha/año respectivamente.

En cuanto a la captura de carbono, el valor obtenido es similar al indicado por Amézquita et ál. (2008b) (1,6 t/ha) en potreros de brizantha en Pocora, Costa Rica. Sin embargo es superior a los valores mencionados por Ávila (2000) (2,04 t de C/ha) en pastos brizantha a pleno sol en la región Atlántica, Costa Rica.

5.3.3.4 Captura de CO₂ por árboles dispersos en potreros

El componente árboles dispersos en potreros contribuye en el sistema finca con el aporte de 305,14 toneladas de biomasa, las cuales capturan 559,92 t de CO₂-eq, lo que corresponde a la remoción de 107,00 t CO₂-eq/ha. Esta finca cuenta con 155 árboles dispersos en toda la finca, con una densidad de 2,77 árboles/ha, la biomasa aérea que presenta este componente es de 5,45 t/ha, este valor coincide con los valores obtenidos por Ibrahim et ál. (2007) para zonas de

vida de bosque húmedo en Esparza, Costa Rica, donde los valores oscilan entre 3,2 a 14,2 t/ha en árboles dispersos en potreros.

Sin embargo este valor es inferior al encontrado por Mora (2001) (6,8 y 24,0 t/ha) para árboles dispersos en potreros con densidades menores a 100 árboles/ha. Además, CATIE y MAG (2010) encontraron valores de biomasa de 11,66 t/ha para árboles dispersos en potreros un valor superior al obtenido en la finca Térraba a pesar de presentar baja densidad arbórea.

La captura de carbono en la biomasa fue de 2,72 t de C/ha, este valor es superior al obtenido por Ibrahim et ál. (2007) (1,6 t C/ha) en potreros mejorados con baja densidad de árboles (menos de 30 árboles/ha) y por Torres et ál. (2010), los cuales indican una captura de 1,46 t C/ha en árboles dispersos en potreros de México con una densidad de 3 árboles/ha. Sin embargo, la captura de carbono es inferior al encontrado por Ruiz (2002) (12,84 t C/ha) en árboles dispersos en potreros de Matiguás, Nicaragua.

5.3.3.5 Captura de CO₂ por bancos forrajeros

Al estimar la captura de CO₂ por parte de los bancos forrajeros se obtuvo que los tres bancos forrajeros que presenta la finca capturan 22,78 t de CO₂-eq al año en la biomasa aérea (Cuadro 35).

Cuadro 35. Captura de carbono (t de C/ha) y CO₂ (t de CO₂-eq) de cada uno de los bancos forrajeros y captura total de CO₂ (t de CO₂-eq) de la finca Térraba

Tipo de Banco Forrajero	Captura de carbono (t de C/ha)	Captura de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha)	Captura de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/año)
Caña Forrajera	16,50	60,56	6,06
Botón de Oro	21,36	78,39	7,84
Camerún	24,20	88,81	8,88
Total		227,76	22,78

El banco forrajero de camerún captura 24,20 t de C/ha, este dato es similar con el valor indicado por CATIE y MAG (2010) (26,32 t de C/ha) en bancos forrajeros de gramíneas (*P. purpureum*) en la región Chorotega. Asimismo, la captura de carbono del banco forrajero de Botón de Oro (21,36 t de C/ha)

concuera con los valores encontrados por Casanova et ál. (2010) (20 t de C/ha) en bancos forrajeros de *Leucaena leucocephala* en Yucatán, México, sin embargo, este valor corresponde al carbono almacenado en la hojarasca y en la biomasa aérea.

5.3.3.1 Captura de CO₂ por parte del suelo

En la finca Térraba, al efectuar las estimaciones de carbono orgánico en el suelo cubierto por pasturas se obtuvo como resultado 25,30 toneladas de carbono orgánico en el suelo, así como la captura de 92,84 t de CO₂-eq/ha, por lo cual contribuye con 3,71 t de CO₂-eq/ha al año.

5.3.3.2 Captura total de CO₂

Una vez estimada la fijación de CO₂ de cada fuente de captura presente en la finca se procedió a realizar la sumatoria total (Cuadro 36). Las pasturas presentaron la mayor captura de CO₂ anual, esto concuerda con Segura y Kanninen (2002) los cuales mencionan que los pastos son sumideros de carbono importantes en las fincas ganaderas.

Cuadro 36. Estimación de la captura de CO₂ por los diferentes componentes y captura total en t de CO₂-eqde la finca Térraba

Uso del suelo	Captura total de CO ₂ (t de CO ₂ -eq)	Captura CO ₂ por área (t de CO ₂ -eq/ha/año)	Captura CO ₂ anual (t de CO ₂ -eq/año)
Cercas vivas	528,42	6,56*	21,14
Bosque secundario	10105,45	6,74	202,11
Pasturas		6,59	369,11
Árboles en potreros	305,14	0,40	22,40
Bancos forrajeros			22,78
Suelos	5209,11	3,71	208,36
Total			845,90

*El valor mostrado corresponde a t de CO₂-eq/Km/año

La captura de CO₂ por parte del bosque secundario y los sistemas silvopastoriles representan una tercera parte del total del secuestro del carbono (Figura 27), lo que demuestra que el uso de estos sistemas en las fincas ganaderas es una manera importante de reducir las emisiones de GEI. Sin embargo, es importante entender que los resultados pueden variar en función de las especies arbóreas, de la composición de los sistemas, del manejo que se brinde a los árboles, a los cultivos y al suelo (De Melo y Abarca 2008).

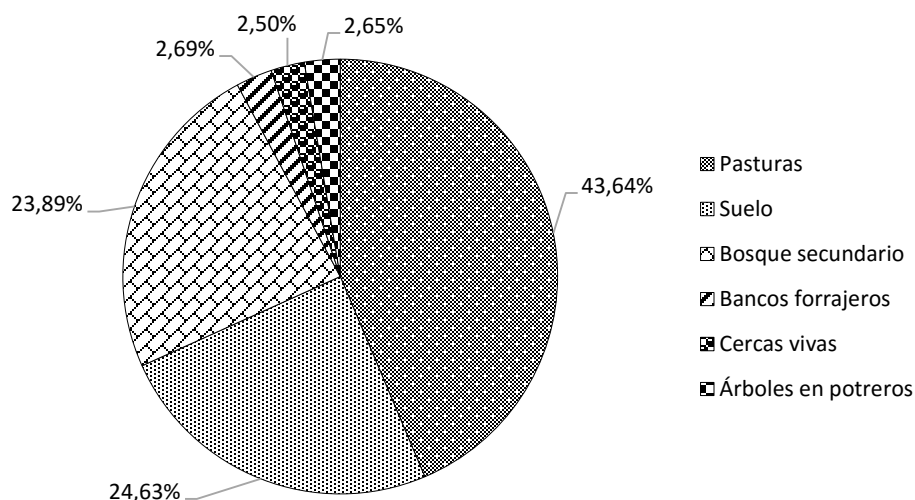


Figura 27. Captura total de CO₂ (%) de la finca Térraba, Buenos Aires

5.3.4 Comparación de la captura de CO₂ de los tres sistemas productivos

Los tres sistemas productivos evaluados se caracterizaron por presentar la mayor mitigación de CO₂ por parte de las pasturas (Cuadro 37), sin embargo es importante indicar que esto se debe a que las fincas cuentan con mayor área dedicada a los pastos que área cubierta por bosque secundario.

Cuadro 37. Captura total de gases de efecto invernadero en porcentaje (%) y de cada fuente de captura de la finca La Dibujada, San Antonio y Térraba

Fuente	La Dibujada	San Antonio	Térraba
	Captura (%)		
Pasturas	36,37	57,21	43,64
Suelo	24,68	18,67	24,63
Bosque Secundario	32,48	15,04	23,89
Bancos Forrajeros	3,21	1,96	2,69
Cercas Vivas	1,74	5,26	2,50
Árboles en potreros	1,52	1,86	2,65
Total	100	100	100

En el caso de la finca La Dibujada existe una relación 2:1 entre el área dedicada a pastos y el área cubierta por bosque secundario, además al analizar el secuestro de carbono atmosférico por área entre estos dos componentes se determina que el bosque posee una retención superior (15,49 t de CO₂-eq/ha/año) a la realizada por los pastos (6,53 t de CO₂-eq/ha/año).

En los otros dos sistemas de producción ocurre una situación similar, con respecto a la finca San Antonio la relación que existe entre el área dedicada a pasto y la cobertura del bosque es de 7:1, mientras que la relación de captura de CO₂ por área es de 1:2, esto significa que cuando una hectárea de bosque captura dos toneladas de CO₂ el pasto captura una tonelada.

El componente suelo en dos de los sistemas productivos se encuentra en segunda posición de importancia con respecto a la remoción de carbono (Cuadro 37). El almacenamiento de carbono orgánico en suelo en las mediciones de balance de gases de efecto invernadero, constituye un sumidero de carbono significativo a pesar de que no es tan visible como la biomasa arriba del suelo.

Los sistemas silvopastoriles como bancos forrajeros, cercas vivas y arboles dispersos en potreros en los tres sistemas productivos evaluados se encuentran con los menores porcentajes de remoción de carbono, sin embargo esto se debe que estos componentes se encuentran en pequeñas áreas dentro de la finca, por ejemplo, los bancos forrajeros no superan los 3 000 m² dentro de los diferentes sistemas.

5.4 Balance de CO₂

El balance de GEI es un proceso dinámico en el cual confluyen las salidas de un sistema (GEI) y la capacidad del mismo para absorber dichos gases. El balance puede ser positivo, negativo o neutro, la dirección de este depende de la intensidad y cantidad de gases emitidos y la capacidad del capital natural para absorberlos (CATIE y MAG 2010). Por lo tanto consiste en tomar las emisiones y remociones de los gases en las diferentes actividades productivas de las fincas y realizar la resta correspondiente.

En este caso se sumaron los aportes de los sumideros de carbono, tales como pasto (biomasa aérea y carbono orgánico en el suelo), cercas vivas (biomasa aérea), árboles en potreros (biomasa aérea), bancos forrajeros (biomasa aérea) y los árboles en el bosque (biomasa aérea). A la remoción total se le restó la emisión de gases de las diferentes fuentes como: fermentación entérica (emisión de CH₄), excretas (emisión de CH₄ y N₂O), quema de combustibles y uso de la electricidad (emisión CO₂).

5.4.1 Finca La Dibujada

Al realizar el balance de la finca La Dibujada se obtuvo que la finca es una almacenadora neta de CO₂ porque mitiga 9,93 t de CO₂-eq/ha. El balance es positivo (Cuadro 38) gracias al uso, conservación y el manejo de los sistemas silvopastoriles en la finca así como la conservación del bosque. Esta finca tiene el potencial para comercializar los depósitos de carbono en el mercado ya sea nacional o internacional, así como ofrecer servicios ambientales.

Cuadro 38. Balance de CO₂ (t de CO₂-eq/año) de la finca La Dibujada

Finca La Dibujada	Cantidad (t de CO₂-eq/año)
Captura de CO ₂	572,07
Emisión de CO ₂	125,09
Balance	+446,98

El valor obtenido en el balance de la finca La Dibujada coincide con el valor obtenido por Cárdenas (2014) en fincas ganaderas con pago de servicios ambientales en la Península de Nicoya, las cuales presentaron medias positivas mayores de 422,09 t de CO₂-eq/año. Además, el balance de la finca La Dibujada es superior al encontrado por CATIE y MAG (2010) en la finca 202 del estudio realizado en la región Chorotega, donde la finca antes mencionada presentó un balance positivo en 120,8 t de CO₂-eq/año.

En cuanto al balance de CO₂ por hectárea al año, el valor de la finca La Dibujada (9,93 t de CO₂-eq/ha) es superior al encontrado por Arronis y Mora (2011), los cuales encontraron un balance positivo de 3,8 t de CO₂-eq/ha en una finca agroforestal en la Región Brunca.

5.4.2 Finca San Antonio

El balance de la finca San Antonio muestra que el sistema productivo posee la capacidad de reservar CO₂ mediante la captura de 8,65 t de CO₂-eq/ha. La finca captura más CO₂ del que emite (Cuadro 39), debido a que cuenta con diferentes sistemas silvopastoriles, como los bancos forrajeros, los cuales poseen un alto potencial de mitigación de CO₂ (66,06 t CO₂/ha/año) sin embargo el área dedicada a bancos forrajeros (3 000 m²) es menor que el área dedicada a las pasturas (71 ha) por lo que este componente posee un mayor secuestro de CO₂ año. Al aumentar el área dedicada a sistemas silvopastoriles se generaría una mitigación superior de CO₂.

Cuadro 39. Balance de CO₂ (t de CO₂-eq/año) de la finca San Antonio

Finca San Antonio	Cantidad (t de CO₂-eq/año)
Captura de CO ₂	1010,23
Emisión de CO ₂	222,67
Balance	+787,56

El valor obtenido en el balance de la finca San Antonio es superior al rango indicado por Mora (2010) en fincas doble propósito de la región Pacífico (29,8 a 248,0 t de CO₂-eq/año), además, Mora (2010) menciona que las fincas evaluadas en el estudio de la región Pacífico son carbono neutrales gracias a la presencia de sistemas agroforestales.

En cuanto al balance por hectárea, esta finca presentó un valor de 8,65 t de CO₂-eq/ha, un valor que se encuentra dentro del rango indicado por Mora (2010), el cual reportó un balance positivo en fincas ganaderas de Costa Rica entre 2,2 a 10,6 t de CO₂-eq/ha.

5.4.3 Finca Térraba

Al estimar el balance de la finca Térraba se comprobó que la finca es carbono positiva (Cuadro 40), debido a que secuestra 7,17 t de CO₂-eq/ha/año. En este sistema productivo, los componentes bosque secundario y pasturas presentan un secuestro de carbono por área similar sin embargo la relación de área entre las pasturas y el bosque secundario es de 2:1, por lo que la captura por parte del pasto es superior.

Cuadro 40. Balance de CO₂ de la finca Térraba

Finca Térraba	Cantidad (t de CO₂-eq/año)
Captura de CO ₂	845,90
Emisión de CO ₂	200,49
Balance	+645,41

El valor obtenido en el balance de la finca Térraba es superior al encontrado por CATIE y MAG (2010) en la finca 209 del estudio realizado en la región Chorotega (37,76 t de CO₂-eq/año), debido a que el bosque presentó el principal aporte de remoción. En este mismo estudio, la finca 210 presentó un balance negativo en 111,7 t de CO₂-eq, un valor inferior al encontrado en el presente trabajo. Esto se debe a la poca presencia de bosques en la finca además de una

baja densidad de árboles en potreros, esto evidencia la importancia de que las fincas posean bosques y sistemas silvopastoriles.

En cuanto al balance por hectárea al año, esta finca presentó un valor de 7,17 t de CO₂-eq/ha/año, un valor superior al encontrado por Mora (2001), el cual reportó un balance positivo de 3,44 t de CO₂-eq/ha/año y 1,48 t de CO₂-eq/ha/año, en dos fincas lecheras intensivas de la zona alta de Costa Rica.

5.4.4 Balance promedio

Las tres fincas evaluadas presentan un balance de CO₂ positivo, el valor promedio del balance de CO₂ es de 626,64 t de CO₂-eq/año (Cuadro 41).

Cuadro 41. Estimación del balance de CO₂ promedio (t de CO₂-eq/año) de las tres finca evaluadas

Sistema de producción	Balance de CO₂ (t de CO₂-eq/año)
La Dibujada	+446,98
San Antonio	+787,56
Térraba	+645,41
Mínimo	+446,98
Máximo	+787,56
Promedio	+626,65
Desviación estándar	139,67

Las tres fincas poseen un balance de CO₂ positivo, por tanto presentan una captura mayor a la emisión. La dispersión de los datos de la media (Figura 28) muestra que las fincas presentan diferentes balances de CO₂, ya que presentan diferencias en el número de animales que poseen, en el tamaño de las fincas y en el área dedicada a sistemas forestales y silvopastoriles, esto ocasiona que tanto las emisiones de GEI y la captura de CO₂ al año para cada una de las tres fincas sea diferente, con diferencia de hasta 340 t de CO₂-eq al año.

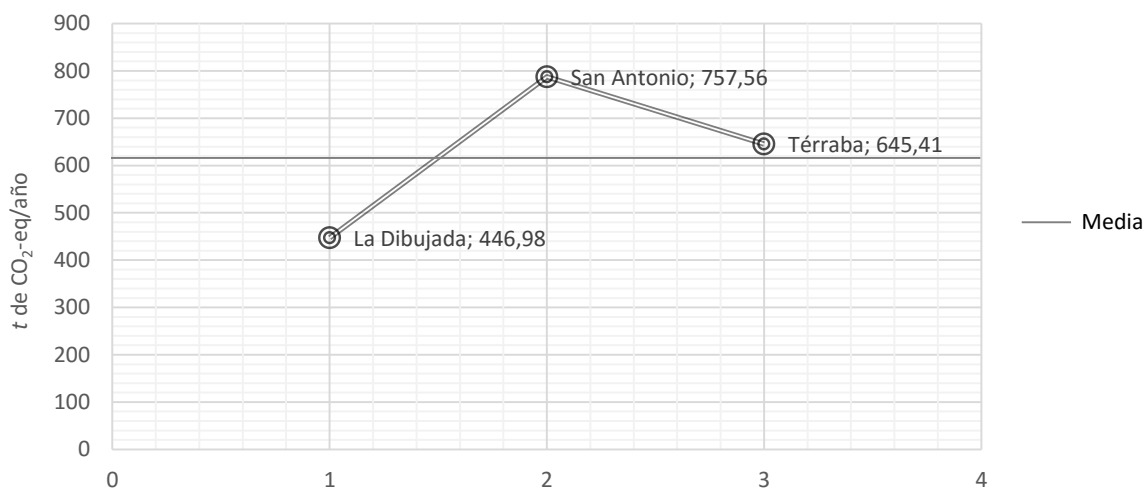


Figura 28. Balance de CO₂ (t de CO₂-eq/año) de la finca La Dibujada, San Antonio y Térraba

De los tres sistemas productivos La Dibujada es la finca que posee el menor balance de CO₂, esta finca podría aumentar este balance al disminuir el uso de combustibles y al incrementar la captura de carbono atmosférico al aumentar la cobertura arbórea de los potreros y la cantidad de kilómetros lineales de las cercas vivas.

5.5 Simulaciones

Las tres fincas evaluadas presentaron un balance de CO₂ positivo, sin embargo, este balance puede tener más impacto, ya que no solo contribuye a mejorar el medio ambiente, sino que también los sistemas productivos podrían comercializar los depósitos de carbono en el mercado, recibir pagos por servicios ambientales y aumentar de esta manera la rentabilidad de la finca.

En el caso de árboles dispersos en potreros la principal razón de una baja captura se debe a que las 3 fincas presentan potreros con baja densidad de árboles (menor a 4 árboles/ha). Por lo tanto, el primer escenario hipotético consiste en aumentar la cobertura arbórea de las pasturas en 10, 20 y 30 árboles/ha, para conocer en cuanto aumenta la captura de CO₂ al año (Cuadro 42).

Cuadro 42. Diferentes escenarios de captura de CO₂ (t de CO₂-eq/año) árboles dispersos en potreros al aumentar la cobertura arbórea de las pasturas en 10, 20 y 30 árboles/ha

Finca	Captura de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/año)			
	Actual	10 árboles/ha	20 árboles/ha	30 árboles/ha
La Dibujada	8,69*	22,84	40,82	60,71
San Antonio	18,81**	27,93	45,02	66,39
Térraba	10,00***	50,96	93,37	139,15

*1,26 árboles/ha, **3,25 árboles/ha, ***2,77 árboles/ha

En la finca La Dibujada al aumentar la cantidad de árboles en potreros de 1,26 a 30 árboles/ha, el balance de CO₂ de la finca aumenta en 11,98%. En la finca San Antonio el incremento es de 6,04% y la finca Térraba presenta el mayor aumento en el balance de CO₂, ya que incrementa en 21,56%. En estos casos las pasturas seguirán considerándose con baja densidad de árboles (menos de 30 árboles/ha), en el caso de que el escenario hipotético fuera transformar las pasturas a alta densidad de árboles (mayor a 30 árboles/ha) el aumento en el balance de CO₂ de las fincas presentaría un aumento de 17,82%.

Al considerar que las fincas se encuentran en el mercado voluntario de carbono en Costa Rica y que la tonelada de CO₂ tiene un precio de \$7,5 (FONAFIFO 2016), el aumento de 11,98% en el balance de CO₂ de la finca La Dibujada significa una ganancia económica de ₡210 681,00 al año, en la finca San Antonio el ingreso sería de ₡192 699,00 al año y en la finca Térraba correspondería un ingreso de ₡523 057,50 al año.

Con respecto a cercas vivas, las fincas en estudio presentan entre 2,7 a 7,1 km lineales de cercas vivas, el escenario consiste en aumentar a 10, 15 y 20 km lineales de cercas y mantener las mismas características de densidad de las cercas vivas, para conocer el aumento de captura de CO₂ (t de CO₂-eq/año) en los tres diferentes sistemas productivos (Cuadro 43).

Cuadro 43. Diferentes escenarios de captura de CO₂ (t de CO₂-eq/año) de árboles en cercas vivas al aumentar la cantidad en 10, 15 y 20 km

Finca	Captura de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/año)			
	Actual	5 km	10 km	15 km
La Dibujada	9,93*	18,38	36,76	55,15
San Antonio	53,17**		74,88	112,32
Térraba	21,14***	32,82	65,64	98,46

*2,7 km, **7,1 km, ***3,22km

Al transformar las cercas vivas a 15 km, el aumento en el balance de CO₂ de la finca La Dibujada, San Antonio y Térraba es de 12,71, 14,45 y 15,26% respectivamente. Además, el establecimiento de éstas resulta más barato que las cercas convencionales y el componente leñoso en las cercas vivas tiene importancia ecológica, ya que reducen la presión sobre el bosque para la obtención de postes y leña. Asimismo, los productores pueden aumentar la cantidad de cercas vivas alrededor de los potreros y en los linderos de la finca.

En materia económica, al aumentar la cerca viva a 15 km, se genera un ingreso anual de ₡183 141,00, ₡239 557,50 y ₡313 146,00 para la finca La Dibujada, San Antonio y Térraba respectivamente, al tomar en cuenta que los tres sistemas productivos se encuentran dentro del mercado voluntario de carbono.

En el caso de aumentar el hato de la finca en una unidad animal el balance del sistema productivo aumenta en 2,23 t CO₂-eq al año. Este valor toma en consideración las emisiones de los diferentes GEI que emite el animal: la emisión de CH₄ por fermentación entérica y por manejo del estiércol y la emisión de N₂O por producción de excretas. Para mantener el balance de GEI neutro o positivo en la finca se debe sembrar 10 árboles, los cuales deben presentar características dasométricas de 15 m de altura y 30 cm de DAP en la edad adulta, esto quiere decir que se deben sembrar 10 árboles para que capturen las 2,23 t CO₂-eq que emite una vaca adulta de 400 kg, es importante aclarar que no se tomó en cuenta las demás fuentes de emisión que existen en la finca como las pasturas, el suelo, bosque, entre otros.

5.6 Inconsistencias

Durante la elaboración del presente estudio y la estimación de la captura de CO₂ por los diferentes usos del suelo de las fincas se encontraron diferentes inconsistencias que se detallan a continuación. En el tema de las cercas vivas, existen diferentes ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea en condiciones del trópico húmedo, sin embargo no todas se adaptan a las condiciones de las fincas, en este caso se utilizó la Ecuación 25 sugerida por Arronis y Mora (2011):

$$Y = -9,88284891 + 1,92178549 \cdot \log DAP + 1,04714889 \cdot \log HT \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

Y= biomasa (kg/árbol)

DAP= Diámetro altura pecho 1,30m (cm)

HT= altura total (metros)

Sin embargo al introducir los datos en la Ecuación 25, se generaba un resultado erróneo, debido a que la ecuación funciona para cercas vivas conformadas de manera principal por árboles de indio desnudo (*Bursera simaruba*) y jocote (*S. purpurea*), y las cercas vivas evaluadas estaban conformadas por especies diferentes (Figura 29).



Figura 29. Cerca viva conformada por maría colorado (*Miconia argentea*)

En el caso de bosques secundarios también existen diferentes ecuaciones alométricas para estimar la biomasa arriba del suelo, en primera instancia se utilizó la Ecuación 26 sugerida por Moraes (2001):

$$\log Y = -4,4661 + 2,707 \cdot \log DAP \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

Y= biomasa (kg/árbol)

DAP= Diámetro altura pecho 1,30m (cm)

Sin embargo, al igual que en la estimación de la biomasa aérea de las cercas vivas, el resultado generado por la Ecuación 26 para bosques secundarios fue erróneo, por lo tanto se utilizó la metodología establecida por Russo (2009), la cual permite cuantificar las existencias de carbono en la vegetación como lo son bosques, plantaciones y sistemas agrícolas.

5.7 Potencial de captura de bosques

Según el IPCC (2006) los valores por defecto de biomasa aérea sugeridos para bosques tropicales para el continente americano es de 300 t de MS/ha (120 -400 t de MS/ha), el promedio obtenido en las tres fincas en estudio (Cuadro 44) es similar a ese valor.

Cuadro 44. Biomasa (t MS/ha) y potencial de captura de CO₂ (t de CO₂-eq/ha) de bosques secundarios de la finca La Dibujada, San Antonio y Terraba

Finca	Biomasa aérea (t MS/ha)	Captura (t de CO₂-eq/ha)
La Dibujada	421,97	774,31
San Antonio	426,75	783,08
Terraba	183,57	336,85
Promedio	344,01	631,41

El contenido de CO₂ secuestrado está relacionado con la biomasa que presenta el bosque, el CO₂ fijado por el bosque de la finca Térraba se encuentra dentro del rango establecido por el IPCC (2006) mientras que la finca La Dibujada y San Antonio se encuentran fuera de ese rango, el cual es 220,20 a 734,00 t de CO₂-eq/ha.

Además, el bosque secundario de la finca Térraba presenta una biomasa aérea menor (Cuadro 44) a la biomasa aérea del bosque de las otras dos fincas en estudio, ya que los árboles presentaban diámetros menores, a pesar de tener densidades arbóreas de los bosques similares. También, se puede atribuir a la presencia de diferentes especies de árboles y a la composición de los sistemas (De Melo y Abarca 2008). Es importante mencionar que los bosques presentan un gran potencial de captura de CO₂ y colaboran a frenar los efectos negativos del exceso de emisiones de CO₂, también son relevantes en la conservación y en la protección de la diversidad de especies debido a que ofrecen multitud de hábitats, en ellos se puede encontrar una gran variedad de especies (Segura y Kanninen 2002). Además disminuyen la erosión al reducir la velocidad del agua y retener el suelo, y disminuyen el riesgo de inundaciones, por lo que es de suma importancia la conservación de los mismos (Lagos y Venegas 2003).

5.8 Densidad aparente y carbono orgánico en el suelo

Con base en el porcentaje de materia orgánica y la densidad aparente se estimó el almacenamiento de carbono orgánico en cada una de las tres fincas (Cuadro 45).

Cuadro 45. Contenido de carbono orgánico (t/ha) en el suelo cubierto por pasturas de las tres fincas en estudio

Finca	Densidad Aparente (g/cm ³)	% Materia Orgánica	Contenido carbono (t/ha)	Contenido CO ₂ (t de CO ₂ -eq/ha)	Contenido CO ₂ al año (t de CO ₂ -eq/ha/año)
La Dibujada	1,19	2,2	30,25	111,00	4,44
San Antonio	1,11	1,41	18,09	66,40	2,66
Térraba	0,95	2,3	25,30	93,02	3,72

Las densidades aparentes del suelo de las tres fincas en estudio se encuentran dentro del rango adecuado (0,6-1,11 g/cm³) indicado por Alvarado et ál. (2013) para suelos volcánicos. Además estos valores coinciden con los valores encontrados por Alvarado y Forsythe (2005) en 111 perfiles de suelos en Costa Rica (0,53 y 2,00 g/cm³).

Asimismo, se observa como el suelo de la finca Térraba presenta una densidad aparente menor que las otras dos fincas, lo cual es adecuado ya que suelos con densidades aparentes bajas son suelos poco compactados, debido a que la cantidad de luz que entra es menor, permanecen húmedos, bien drenados y porosos (Corrales 2013).

A medida que disminuye la densidad aparente la materia orgánica aumenta (Cuadro 45). El suelo con menor densidad aparente presentó mayor contenido de materia orgánica. Los suelos con densidades aparentes bajas pueden reducir los impactos negativos del aumento del CO₂ atmosférico sobre el clima global y para el mejoramiento de suelos como sostén de la producción agropecuaria.

Los contenidos de materia orgánica encontrados en los suelos de las fincas analizadas coinciden con los valores encontrados por Alvarado et ál. (2013) en suelos cafetaleros de Colombia (1,2 y 3%). Estos valores también coinciden con Corrales (2013), el cual obtuvo valores de materia orgánica entre 1,41 a 3,11% en diferentes coberturas de suelo en dos fincas de la zona de Turrialba en Costa Rica.

La relación inversa que existe entre la densidad aparente y el porcentaje de carbono orgánico del suelo indica que al incrementarse la concentración del carbono orgánico en el suelo en 1% se reduce la densidad aparente en 0,2 g/cm³. Estos cambios significativos producen grandes mejoras en la calidad del suelo, de manera principal en el movimiento de agua y nutrientes en el perfil (Alvarado et ál. 2013). Al realizar diferentes escenarios en las fincas en estudio se obtuvo los resultados que se muestran el Cuadro 46.

Cuadro 46. Diferentes cambios en la densidad aparente del suelo en las tres fincas en estudio al aumentar el carbono orgánico del suelo en 1, 2 y 3%.

Aumento de COS	La Dibujada	San Antonio	Térraba
Densidad Aparente (g/cm ³)			
0	1,19	1,11	0,95
1%	0,99	0,91	0,75
2%	0,79	0,71	0,55
3%	0,59	0,51	0,35

El contenido de carbono orgánico en el suelo cubierto por el pasto brizantha en las tres fincas evaluadas son inferiores a los encontrados por Ávila et ál. (2001), a pleno sol (66,2 t de carbono por hectárea), en la provincia de Alajuela en Costa Rica y similares a los valores encontrados por Ibrahim et ál. (2007) (21,66 t de carbono por hectárea) en el cantón de Esparza en pasturas degradadas.

En un estudio realizado por Ibrahim et ál. (2007), en dos fincas ganaderas en Nicaragua y Colombia las pasturas degradadas presentaron 63,1 t/ha y 52,34 t/ha de carbono orgánico en el suelo respectivamente, estos valores son superiores a los encontrados en este estudio. Sin embargo, dicho autor indicó que la acumulación de COS fue 13,9 t/ha en el estado de Bahía del Brasil en áreas deforestadas, este valor encontrado es inferior a los obtenidos en las tres fincas de la zona sur de Costa Rica.

Estas diferencias en el contenido de COS se pueden deber a varios factores como las condiciones físicas y biológicas del suelo, la topografía y las prácticas de manejo, como la fertilización, el riego, así como la eliminación de bosque para establecer pasturas, lo cual genera pérdidas de COS y posibles emisiones de CO₂ a la atmósfera.

En cuanto a la fertilización nitrogenada, existen reportes contradictorios sobre el efecto de ésta sobre el contenido de carbono orgánico en el suelo, autores como Studdert y Echeverría (2000) y Varvel (1994) encontraron mayor contenido de carbono orgánico en el suelo en los cultivos que recibieron fertilización con nitrógeno en comparación con los suelos que no fueron fertilizados. Sin embargo Seiter y Horwath (2004) indican que las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados en general producen una disminución de la materia orgánica debido a que el nitrógeno disponible conduce a la rápida descomposición microbiana de la materia orgánica de los suelos. Así mismo, Coulter et ál. (2009) y Novelli et ál. (2009) en diferentes estudios realizados informaron que la fertilización nitrogenada tiene poco impacto sobre el almacenaje de carbono en el suelo.

Por otro lado, el riego con purines es una práctica que podría aumentar el contenido de carbono en el suelo, Zamora et ál. (2009) y Nascimento et ál. (2004) constataron un incremento en el contenido de materia orgánica luego de la aplicación de aguas residuales en suelos de Venezuela y Brasil respectivamente. Según Soler et ál. (2002) la incorporación de las aguas residuales durante varios años puede modificar la acumulación y la estabilidad de la materia orgánica y por tanto mejorar las características químicas y la fertilidad del suelo.

5.9 Comparación con otros modelos de estimación de las emisiones de metano (CH₄) por fermentación entérica

La emisión CH₄ de la finca San Antonio y la finca Térraba determinada por el modelo 1 fue mayor al de los modelos 2 y 3, sin embargo en la finca La Dibujada el resultado obtenido por el modelo 1 fue menor a los datos mostrados por el modelo 2 y 3. El modelo 1 estima la emisión de CH₄ a partir de un factor de emisión que es igual para cada animal en una misma categoría, mientras que el modelo 2 y 3 estima la emisión a partir del peso vivo del animal y del consumo de materia seca por parte del mismo, por lo tanto se obtiene la emisión de CH₄ para cada animal de forma individual. Esto quiere decir que el modelo 1 podría subestimar o sobrestimar la emisión de metano por parte de los animales en las fincas (Cuadro 47).

Cuadro 47. Comparación de tres modelos diferentes de estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica en las fincas La Dibujada, San Antonio y Térraba

Finca	Emisión de CH ₄ (t CO ₂ -eq/año)		
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
La Dibujada	92,38	93,52	93,74
San Antonio	174,19	170,21	170,60
Térraba	153,80	156,79	157,15

Los modelos 2 y 3 genera resultados muy similares entre ellos, esto se debe a que ambos estiman la emisión en base al consumo de MS. El modelo 3 estima la emisión de metano a partir de un factor de emisión igual para todos los animales una vez estimada el consumo de MS para cada uno de ellos, lo que facilitaría la estimación de la emisión de CH₄ en las fincas y se obtendría un resultado muy similar. Como se mencionó con anterioridad, las tres fincas en estudio presentan un balance de CO₂ positivo en 626,64 t CO₂-eq/año en promedio, el cual se considera alto. Por lo tanto se podría utilizar cualquiera de los tres modelos de estimación de las emisiones de CH₄ y el efecto de éstos sobre el balance de CO₂ sería mínimo, además, los tres modelos evaluados presentan diferencias pequeñas entre ellos.

5.10 Desarrollo de una hoja electrónica para el cálculo de emisión, captura y balance de CO₂ en ganadería

La hoja electrónica para la estimación de las emisiones, captura y balance de CO₂ es una herramienta que pretende facilitar la estimación del balance de CO₂ en fincas ganaderas dedicadas a la producción de carne, leche o doble propósito.

La primera visualización de la hoja electrónica es la portada donde se encuentra un índice (Figura 30), el cual muestra las secciones por las que está compuesta la hoja electrónica y además permite navegar por éstas. También se observa la presencia de diferentes logos como el del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y el de la Corporación de Fomento Ganadero (CORFOGA) debido al apoyo brindado por estas instituciones al desarrollo del presente documento, por medio de la localización de los sistemas productivos e información necesaria en casos donde el productor no contaba con ella.



Figura 30. Portada de la hoja electrónica de cálculo de las emisiones, captura y balance de CO₂ en fincas ganaderas

La hoja electrónica está compuesta por 10 secciones: instrucciones, caracterización de la finca, ecuaciones y factores de emisión, estructura de hato, fertilización, combustible, electricidad, reporte y escenarios.

5.10.1 Instrucciones

La primera sección está compuesta por las instrucciones, en donde se detalla cómo usar la hoja electrónica para la estimación correcta del balance de CO₂. Se muestra en cuales secciones el usuario debe introducir datos y en cuales no lo debe hacer, además se indica cuales celdas no deben quedar vacías para evitar errores en el cálculo del balance.

5.10.2 Caracterización de la finca

La segunda sección está compuesta por la caracterización de la finca, ésta a la vez está compuesta por una subsección llamada generalidades de la finca (Figura 31), donde se deben introducir los datos del productor, así como la ubicación, área y el tipo de producción a la que se dedica la finca. El último aspecto es importante, ya que la emisión GEI varía si la producción es lechera, de carne o doble propósito, asimismo es importante indicar con exactitud el área total, el área dedicada a la ganadería y el área cubierta por bosque.

Índice	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ZOO TÉCNICA		Estimación de las emisiones, captura y balance de CO ₂ en fincas dedicadas a la ganadería		MAG	INTA	INIA
Portada							
Instrucciones							
Caracterización de la finca	Generalidades de la finca Nombre de la finca Ubicación Coordenadas geográficas Nombre del propietario Número de teléfono Correo electrónico Tipo de Producción: Ganadería de Carne (cría de ganado) Razas Extensión Total (ha): 1 Área dedicada a la ganadería (ha) Área de caminos (ha) Área de bosque (ha)		Alimentación Tipo Consumo (kg/animal/día)		Pastoreo Tipo Consumo (kg/animal/día)		
Ecuaciones y Factores de emisión							
Estructura de hato	Recurso Forrajero Pasto predominante Otros pastos Cantidad de potreros Área de potreros (m ²): 1 Periodo de rotación (días) Tiempo Permanencia (días) Especies BF Energéticos Especies BF Energéticos Especies BF Energéticos Área total de BF energéticos (ha) Especies BF Proteicos Especies BF Proteicos Especies BF Proteicos Área total de BF proteicos (ha) Cercas Vivas (km) Densidad de árboles en potreros: Sin árboles		Manejo Reproductivo Método de Reproducción Palpaciones Exámen Antrólógico Porcentaje de preñez (%) Porcentaje de partición (%) Intervalo entre partos (meses) Porcentaje de abortos (%) Edad de destete (meses) Peso de destete (kg)		Corte y Acarreo Tipo Consumo (kg/animal/día)		
Fertilización							
Combustible							
Electricidad							
Uso del suelo			Manejo Sanitario Tipo Cantidad al año Vacunaciones Desparasitaciones Baños		Equipo de trabajo Cantidad		
Informe							
Escenarios					Mano de Obra Cantidad (Jornales) Fija Ocasional		

Figura 31. Sección de la hoja electrónica de cálculo del Balance de CO₂ correspondiente a caracterización de la finca

En la subsección recurso forrajero se debe indicar los pastos que componen la finca, la cantidad de potreros, el periodo de rotación, el tiempo de permanencia de los animales en los potreros, el tipo de bancos forrajeros, el área dedicada a éstos y la densidad arbórea de los potreros.

En la subsección recurso forrajero existe una lista desplegable donde se encuentran diferentes especies de pastos, tanto de bajura como de altura, el usuario debe seleccionar una opción de la lista y en caso de que el pasto utilizado en la finca no se encuentre, podrá seleccionar la opción otros. De igual manera existe una lista desplegable para las diferentes especies de bancos forrajeros tanto para energéticos como para proteicos.

Es de suma importancia indicar con exactitud el área dedicada a los diferentes usos del suelo ya que en base a estas medidas se estima la captura de CO₂ por parte de los mismos. En el extremo izquierdo de la ventana se encuentra una columna donde se muestra las diferentes secciones de la hoja electrónica que permite al igual que el índice trasladarse a las otras secciones de la hoja, todas las secciones cuentan con esta columna para facilitar la navegación por la hoja electrónica.

Otra subsección corresponde a la alimentación, donde se debe seleccionar el tipo de alimento que se les suministra a los animales así como la cantidad de alimento que consumen. De igual manera existe una lista desplegable donde el usuario puede seleccionar desde alimento balanceado hasta subproductos. De manera complementaria a esta subsección se encuentra el pastoreo y corte y acarreo donde se debe seleccionar de una lista la especie de pastos o arbustivas que se utiliza en la finca.

Asimismo, encuentra una subsección correspondiente al manejo reproductivo de la finca donde se debe indicar el método reproductivo utilizado en la finca así como parámetros reproductivos (IEP, %preñez, % abortos, entre otros). También se presenta una subsección donde se debe indicar el manejo sanitario de la finca, cada cuanto se realizan vacunaciones, desparasitaciones, baños, entre otros. Y por último en esta sección, se debe indicar el equipo de trabajo (cortadoras de pasto, plantas eléctricas, entre otros) y la cantidad de vehículos que posee la finca.

5.10.3 Ecuaciones y factores de emisión y captura de CO₂

La siguiente sección que compone la hoja electrónica corresponde a las ecuaciones utilizadas para calcular la emisión de GEI producidos en la finca así como los factores de emisión y captura necesarios para la estimación adecuada del balance de CO₂. En esta sección el productor no deberá indicar ninguna información. La Figura 32 muestra la sección que corresponde a ecuaciones y factores de emisión.

Índice		UNIVERSIDAD DE COSTA RICA				ZOO TECNOLÓGICA				Estimación de las emisiones, captura y balance de CO ₂ en fincas dedicadas a la ganadería			
Portada		Ecuaciones de Cálculo y Factores de Emisión											
Instrucciones		Ecuaciones de cálculo emisión		Factor de emisión de CH₄ por fermentación entérica									
Caracterización de la finca		Emisión de CH₄ por fermentación entérica		FE Carne		FE Leche		FE doble propósito		FE Otras Especies			
Ecuaciones y Factores de		$E = \frac{PTPA \cdot PCG_{CH_4}}{1000}$		Kg CH ₄ /cabeza/año		Kg CH ₄ /cabeza/año		Kg CH ₄ /cabeza/año		Kg CH ₄ /cabeza/año			
Estructura de hato		Emisión de CH₄ por producción de excreta											
Fertilización		$E = \frac{PT \cdot FE_{CH_4} \cdot PCG_{CH_4}}{1000}$											
Combustible		Emisión de N₂O por producción de excreta		Factor de emisión de CH₄ por producción de excreta									
Electricidad		$E = \frac{PT \cdot TE_N \cdot FE_{N_2O} \cdot PCG_{N_2O}}{1000}$		Especie		FE Kg CH₄/cabesa/año							
Usos del suelo		Emisión de N₂O por fertilización de pastura		Ganado		1							
Informe		$E = \frac{CT_F \cdot CN_F \cdot R \cdot FEN \cdot PCG_{N_2O}}{1000}$		Búfalos		2							
Escenarios		Emisión de CO₂ por combustible		Caballos		164							
		$E = CTC \cdot FE_{CO_2} \cdot PCG_{CO_2}$		Cabras		0,17							
		Emisión de CO₂ por electricidad		Cerdos		1							
		$E = CTE \cdot FE_{CO_2} \cdot PCG_{CO_2}$		Aves de corral		0,02							
		Ecuaciones de cálculo Captura		Factor de emisión de CO₂ por combustibles									
		$Captura \text{ de } CO_2 = TCC - AT - FC$		Combustible		FE (kg CO₂-eq/litro)							
				Gasolina		2,26							
				Diesel		2,89							
				Búnker		3,01							
				Queroseno		2,49							
				GLP*		1,61							
				Gasolina de aviación		2,89							
				Jet fuel		2,46							
				Factor de emisión de N₂O por producción de excretas									
				Tasa de captura de Carbono		Especie				FE			
				Uso del suelo		(t C/año)				kg N₂O-N animal/año			
				Caracas vivas		181				0,36			
				Bosque secundario		3,89				1,64			
				Plantaciones forestales		3,21				0,02			
				Pastura degradada		-0,29				1,1			
				Pastura Mejorada ADA		1,34				0,32			
				Pastura Mejorada BDA		0,91				0,02			
				Pastura Mejorada SA		0,7				0,41			
				Banco Forrajero Energético		4,84				1,17			
				Banco Forrajero Proteico		1,37				1,37			
				Factor de emisión de CO₂ para electricidad									
				Factor de conversión de Carbono a CO₂		Año				FE (kg CO₂-eq/kWh)			
				FC		3,68				2003			
										0,13			
										2002			
										0,0771			
										2011			
										0,0824			
										2010			
										0,057			
										2009			
										0,0409			
										2008			
										0,065			
				Factor de emisión para N₂O en las aplicaciones de N									
				Factor de emisión de N₂O por producción de excretas		FEN (kg N₂O-N/kg N)				0,01			
				Conversión de emisiones de N₂O-N en emisiones de N₂O		R				1,57			
				Potencial Calentamiento Global									
				Gas		PCG							
				CO ₂		1							
				CH ₄		21							
				N ₂ O		310							

Figura 32. Sección ecuaciones de cálculo y factores de emisión y captura para la estimación del balance de CO₂

En la Figura 32 se observa como esta sección de la hoja electrónica está compuesta por las ecuaciones utilizadas para estimar la emisión de CH₄, CO₂ y N₂O producidos por las diferentes fuentes de emisión, también muestra los factores de emisión de CH₄ por fermentación entérica utilizados para las diferentes categorías de la estructura de hato, así como para el tipo de producción a la que se dedica la finca (leche, carne o doble propósito). Asimismo, se encuentran los factores de emisión de CH₄ por producción de excretas, factor de emisión de N₂O por producción de excretas, factor de emisión de CO₂ por quema de combustible y uso de electricidad, además se encuentra la tasa de captura de los diferentes usos del suelo.

5.10.4 Estructura de hato

En la sección correspondiente a estructura de hato, se muestran cuatro diferentes estructuras de hato, la que corresponde a la ganadería de carne, ganadería de leche, ganadería doble propósito y el que corresponde a otras especies. Se recomienda indicar la cantidad de animales que en promedio

maneja la finca al año. La Figura 33 muestra la sección de la hoja electrónica correspondiente a estructura de hato.

Estimación de las emisiones, captura y balance de CO ₂ en fincas dedicadas a la ganadería										
Índice Portada Instrucciones Caracterización de la finca Ecuaciones y Factores de Estructura de hato Fertilización Combustible Electricidad Usos del suelo Informe Escenarios	Estructura de Hato Ganadería de Carne									
	Categorías	N° Animales	Valor Unidad Animal	Peso promedio (Kg)	UA	E CH ₄ Ferm. Entérica (t CO ₂ -eq/año)	CH ₄ Prod. Excretas (t CO ₂ -eq/año)	E NO ₂ Prod. Excretas (t CO ₂ -eq/año)		
	Terminos	12	0,3	120	3,6	4,91	0,25	4,89		
	Hembras en crecimiento	15	0,8	320	12	20,04	0,32	6,11		
	Machos en crecimiento	11	0,8	320	8,8	15,30	0,23	4,48		
	Hembras adultas	27	1	400	27	48,65	0,57	11,00		
	Machos adultos	1	1,2	500	1,2	2,35	0,02	0,41		
	Caballos	3	1,2		3,6	1,13	0,10	1,39		
	Búfalos		1,2							
	Total:	69			1,77	92,38	1,49	28,28		
Estructura de Hato Ganadería de Leche										
Categorías	N° Animales	Valor Unidad Animal	Peso promedio (Kg)	UA	E CH ₄ Ferm. Entérica (t CO ₂ -eq/año)	CH ₄ Prod. Excretas (t CO ₂ -eq/año)	E NO ₂ Prod. Excretas (t CO ₂ -eq/año)			
Terminos		0,3	120							
Hembras en crecimiento		0,8	320							
Hembras adultas		1	400							
Machos adultos		1,2	500							
Caballos		1,2								
Búfalos		1,2								
Total:										
Estructura de Hato Ganadería Doble Propósito										
Categorías	N° Animales	Valor Unidad Animal	Peso promedio (Kg)	UA	E CH ₄ Ferm. Entérica (t CO ₂ -eq/año)	CH ₄ Prod. Excretas (t CO ₂ -eq/año)	E NO ₂ Prod. Excretas (t CO ₂ -eq/año)			
Terminos/Terminos		0,3	120							
Hembras en crecimiento		0,8	320							
Hembras adultas		1	400							
Machos adultos		1,2	500							
Caballos		1,2								
Búfalos		1,2								
Total:										
Estructura de Hato Otras especies										
Especie	N° Animales	Peso del animal (Kg)	Ferm. Entérica (t CO ₂ -eq/año)	E CH ₄ Prod. Excretas (t CO ₂ -eq/año)	E NO ₂ Prod. Excretas (t CO ₂ -eq/año)					
Cerdos		100								
Cabras		50								
Ovejas		50								
Pollitos de engorde		2,5								
Total	0		0,000	0,000	0,000					

Figura 33. Sección correspondiente a estructura de hato de la hoja electrónica de cálculo del balance de CO₂ en fincas ganaderas

En esta sección el productor debe introducir el número de animales que se encuentran en cada una de las categorías de acuerdo al tipo de producción al que se dedica la finca y de forma automática la hoja electrónica estima la emisión de CH₄ por fermentación entérica y por producción de excretas y la producción de N₂O por producción de excretas. Esto quiere decir que si el productor posee una finca dedicada a la ganadería de carne debe introducir los datos en la estructura de hato de ganadería de carne (primera estructura de hato), si se dedica a la ganadería leche debe introducir los datos en la estructura de hato ganadería de Leche (segunda estructura de hato), de igual manera con la estructura de hato de doble propósito. La Figura 34 muestra la estimación de GEI para una finca que se dedica a la ganadería de carne.

Estructura de Hato Ganadería de Carne							
Categorías	N° Animales	Valor Unidad Animal	Peso promedio (Kg)	UA	E CH ₄ Ferm. Entérica (t CO ₂ -eq/año)	E CH ₄ Prod. Excretas (t CO ₂ -eq/año)	E NO ₂ Prod. Excretas (t CO ₂ -eq/año)
Terneros	12	0,3	120	3,6	4,91	0,25	4,89
Hembras en crecimiento	15	0,8	320	12	20,04	0,32	6,11
Machos en crecimiento	11	0,8	320	8,8	15,30	0,23	4,48
Hembras adultas	27	1	400	27	48,65	0,57	10,00
Machos adultos	1	1,2	500	1,2	2,35	0,02	0,41
Caballos	3	1,2		3,6	1,13	0,10	1,39
Búfalos		1,2					
Total:	69			1,81	92,38	1,49	28,28

Figura 34. Estructura de hato y emisión de GEI por fermentación entérica y producción de excretas de una finca dedicada a la ganadería de carne

5.10.5 Fertilización

La sección que continúa en la hoja electrónica corresponde a la fertilización, en dicha sección se encuentran diferentes subsecciones como lo son: la fertilización química, orgánica y aguas verdes. Además se muestra la emisión total de N₂O (t de CO₂-eq) al año y por mes para esta fuente de emisión. La Figura 35 muestra la sección que corresponde a fertilización.

FERTILIZACIÓN TOTAL						
Mes	EFO/mes/ha	EFO/mes/ha	EAV/mes/ha	E N ₂ O Total (t de CO ₂ -eq/año)		
Enero	0,022	0,001	0,024	1,50		
Febrero	0,007			0,23		
Marzo	0,008			0,26		
Abril						
Mayo						
Junio						
Julio						
Agosto						
Septiembre						
Octubre						
Noviembre						
Diciembre						
Total al año	0,038	0,001	0,024	1,995		
Promedio al mes	0,013	0,001	0,024	0,665		

Fertilización Química						
Mes	Fertilizante usado	Cantidad de Fertilizante Usado (kg)		% de N del fertilizante	Nitrógeno Aplicado (kg/ha)	E N ₂ O (t CO ₂ -eq/mes/ha)
		Aparto	Ha			
Enero	Urea	10	10,00	46,0%	5	0,022
Febrero	Sulfato de amonio	7	7,00	21,0%	1	0,007
Marzo	Nitrato de amonio	5	5,00	34,0%	2	0,008
Abril						
Mayo						
Junio						
Julio						
Agosto						
Septiembre						
Octubre						
Noviembre						
Diciembre						
Total al año		22	22,00		7,77	0,04
Promedio al mes		7,33	7,33		2,59	0,01

Figura 35. Sección correspondiente a fertilización en la hoja electrónica de estimación del balance de CO₂ en fincas ganaderas

En la Figura 35 se aprecia como en esta sección el usuario debe escoger el fertilizante que utiliza en la finca, en el caso de la fertilización química el usuario encontrará una lista desplegable donde se encuentran diferentes fertilizantes como urea, sulfato de amonio, nutran, entre otros, además debe indicar la cantidad del fertilizante (kg) usado por apartado al mes, la hoja de manera automática estima la emisión al mes y al año para fertilización química.

En la fertilización orgánica el usuario debe escoger de una lista desplegable el fertilizante utilizado e indicar la cantidad del fertilizante utilizado. En el caso de que la fertilización que se realiza en la finca sea el uso de aguas verdes, el usuario solo debe indicar la cantidad utilizada al mes. Una vez que el productor haya introducido los datos correspondientes, la hoja electrónica estima la emisión total de N₂O (t de CO₂-eq) al año para la finca, así como el promedio al mes. En el caso de que no se realice ninguna fertilización en la finca esta sección se debe dejar en blanco. En la Figura 36 se aprecia las subsecciones fertilización orgánica y aguas verdes.

Fertilización Orgánica						
Mes	Fertilizante usado	Cantidad de Fertilizante Usado (kg)		% de N del fertilizante	Nitrógeno Aplicado (Kg/ha)	E N ₂ O (t CO ₂ -eq/mes/ha)
		Aparto	Ha			
Enero	Gallinaza	3	3	3,7%	0,1	0,0005
Febrero						
Marzo						
Abril						
Mayo						
Junio						
Julio						
Agosto						
Septiembre						
Octubre						
Noviembre						
Diciembre						
Total al año		3	3		0,111	0,001
Promedio al mes		3	3		0,111	0,001

Aguas verdes				
Mes	Volumen aplicado		Nitrógeno Aplicado (Kg/ha)	E N ₂ O (t CO ₂ -eq/mes/ha)
	Aparto	Ha		
Enero	5	5	5,0	0,024
Febrero				
Marzo				
Abril				
Mayo				
Junio				
Julio				
Agosto				
Septiembre				
Octubre				
Noviembre				
Diciembre				
Total al año	5	5	5	0,024
Promedio al mes	5,000	5,000	5,000	0,024

Figura 36. Subsecciones fertilización orgánica y aguas verdes

5.10.6 Uso de combustibles

La sección de uso de combustibles está compuesta por cuatro subsecciones: el consumo de gasolina, diésel, gas licuado del petróleo (GLP) y una subsección que muestra el consumo total de combustible así como la emisión total de CO₂ (t de CO₂-eq) al año.

En esta sección el usuario debe escoger de una lista desplegable el vehículo o equipo de trabajo utilizado en la finca según el combustible empleado e indicar el consumo de combustible al mes para ese vehículo o equipo de trabajo, además puede escoger varios vehículos o equipo de trabajo en una misma subsección. Además, al indicar la distancia de la finca al matadero o subasta la hoja electrónica calcula la emisión de CO₂ (t de CO₂-eq) proveniente de los vehículos del transporte alquilado. De manera automática la hoja electrónica calcula la emisión de CO₂ (t de CO₂-eq) al mes y al año, y además muestra la emisión total de CO₂ (t de CO₂-eq) donde se incluye la quema de los tres diferentes combustibles y el transporte alquilado. La Figura 37 y 38 muestran la sección de combustible.

Índice	Estimación de las emisiones, captura y balance de CO ₂ en fincas dedicadas a la ganadería						
	Gasolina			Combustible Diesel		GLP	
	Consumo (L)	(t de CO ₂ -eq)	Consumo (L)	(t de CO ₂ -eq)	Consumo (L)	(t de CO ₂ -eq)	(t de CO ₂ -eq/año)
Enero	23,92	0,054	72,26	0,194	0	0	0,25
Febrero	23,92	0,054	72,26	0,194	0	0	0,25
Marzo	23,92	0,054	72,26	0,194	0	0	0,25
Abril	23,92	0,054	72,26	0,194	0	0	0,25
Mayo	23,92	0,054	72,26	0,194	0	0	0,25
Junio		0	72,26	0,194	0	0	0,19
Julio		0		0	0	0	0,00
Agosto		0		0	0	0	0,00
Septiembre		0		0	0	0	0,00
Octubre		0		0	0	0	0,00
Noviembre		0		0	0	0	0,00
Diciembre		0		0	0	0	0,00
Total al año	119,6	0,270	433,56	1,166			1,44
Promedio por rr	23,92	0,05	72,26	0,19			0,12

Consumo de gasolina (L)		
Mes	Pick up	Total
Enero	23,92	23,92
Febrero	23,92	23,92
Marzo	23,92	23,92
Abril	23,92	23,92
Mayo	23,92	23,92
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		
Total al año	119,6	119,6
Promedio por rr	23,92	23,92

Figura 37. Sección de combustible de la hoja electrónica de cálculo del balance de CO₂ en fincas ganaderas

Consumo de Diesel (L)					
Mes	Camión				Total
Enero	72,26				72,26
Febrero	72,26				72,26
Marzo	72,26				72,26
Abril	72,26				72,26
Mayo	72,26				72,26
Junio	72,26				72,26
Julio					
Agosto					
Septiembre					
Octubre					
Noviembre					
Diciembre					
Total al año	433,56				433,56
Promedio por mes	72,26				72,26

Consumo de GLP (L)					
Mes					Total
Enero					
Febrero					
Marzo					
Abril					
Mayo					
Junio					
Julio					
Agosto					
Septiembre					
Octubre					
Noviembre					
Diciembre					
Total al año					
Promedio por mes					

Figura 38. Continuación de la sección de combustible de la hoja electrónica de cálculo del balance de CO₂ en fincas ganaderas

5.10.7 Consumo de electricidad

En la primera parte de la sección consumo de electricidad el usuario encontrará la siguiente pregunta: ¿Conoce el consumo total de electricidad en la finca (kWh)?, si la respuesta es positiva deberá indicar el consumo total en el primer cuadro, en caso negativo deberá dejar esta subsección en blanco y dirigirse al segundo cuadro donde debe escoger de una lista desplegable el electrodoméstico o aparato eléctrico que utiliza en la finca. Debe indicar el consumo de electricidad del aparato (kWh) así como el tiempo de uso (en horas) al día y de manera automática la hoja electrónica estima el consumo de electricidad y la emisión de CO₂ (t de CO₂-eq) al año para cada electrodoméstico y de todos los aparatos eléctricos usados en la finca (Figura 39).

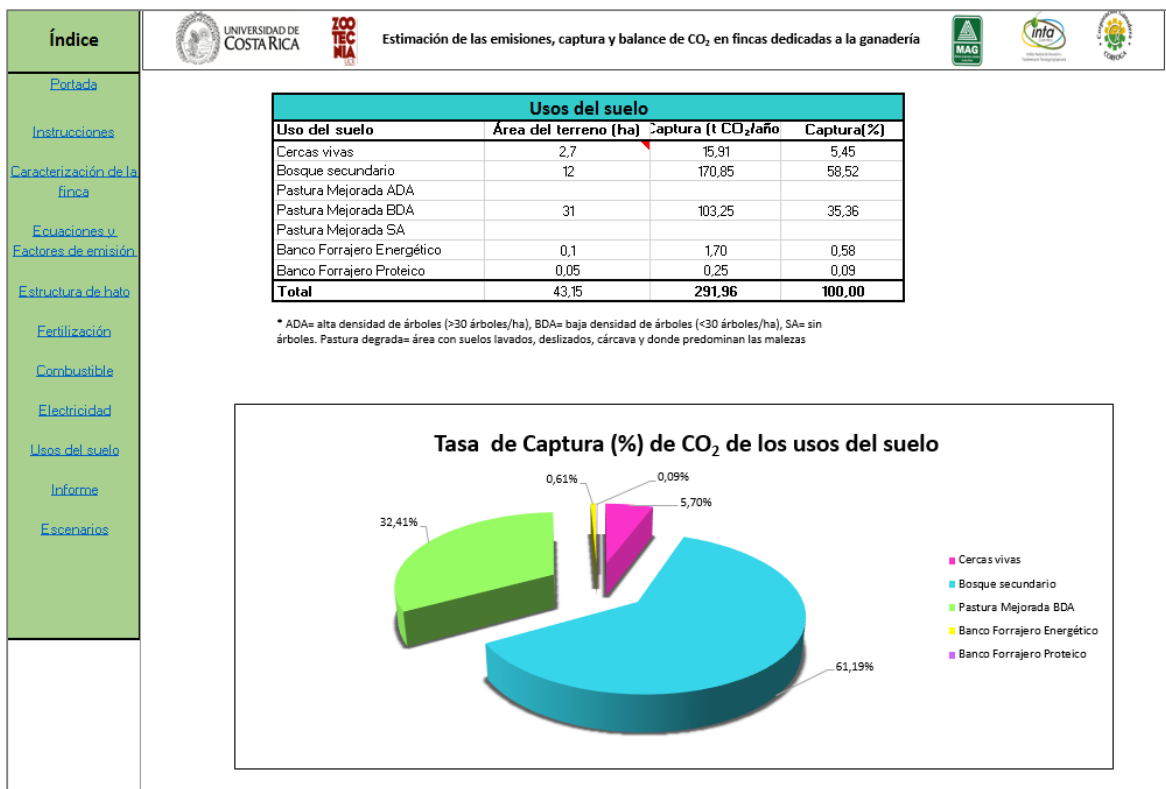


Figura 40. Sección usos del suelo de la hoja electrónica de estimación del balance de CO₂ en fincas ganaderas

5.10.9 Informe del balance de CO₂

La sección correspondiente al informe muestra un resumen de los datos generales del productor y de la finca, la emisión total de CO₂ (t de CO₂-eq) al año y el almacenamiento de CO₂ (t de CO₂-eq/año) por las diferentes fuentes de captura que presenta la finca. La hoja electrónica estima el balance de CO₂ (t de CO₂-eq) al año y por hectárea y genera un gráfico de la emisión de CO₂ (%) de las diferentes fuentes de emisión de la finca. En esta sección el productor conocerá si la finca es almacenadora o emisora de CO₂ atmosférico. La Figura 41 muestra la sección que corresponde al reporte en la hoja electrónica de cálculo del balance de CO₂ de fincas ganaderas.

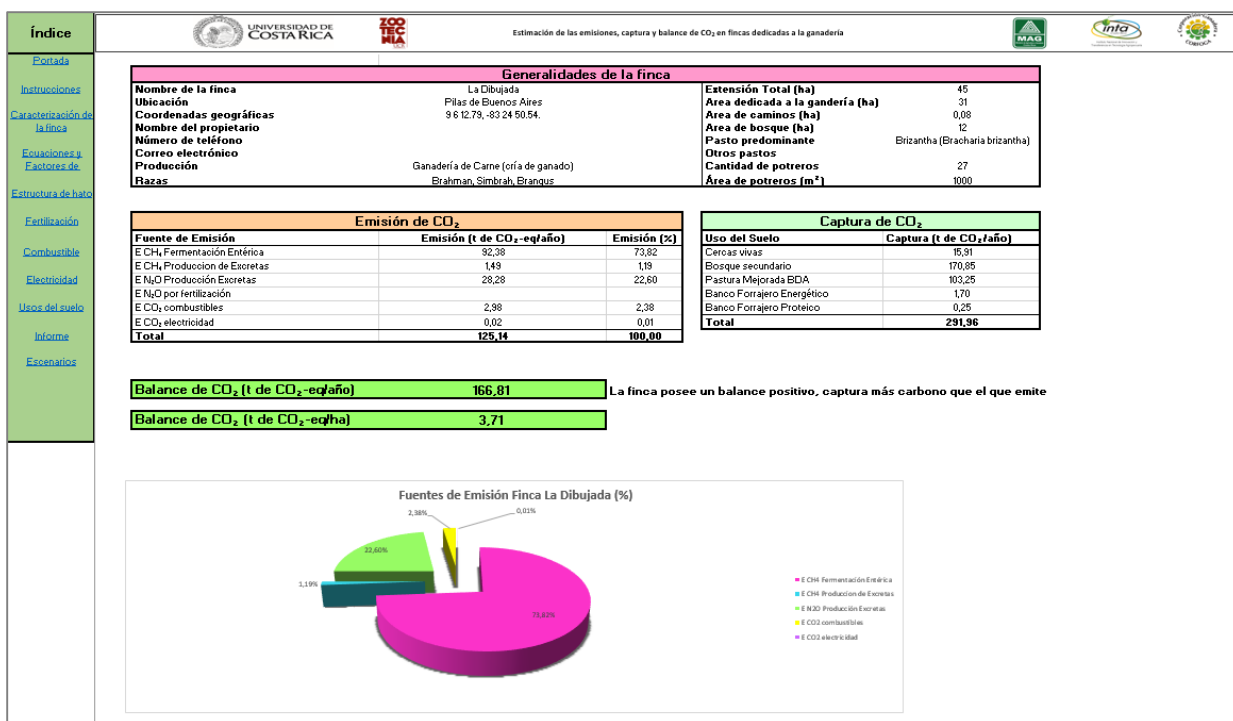


Figura 41. Sección de reporte de la hoja electrónica de estimación del balance de CO₂ en fincas ganaderas

5.10.10 Escenarios hipotéticos

La última sección de la hoja electrónica corresponde a los escenarios hipotéticos, en esta sección el productor podrá crear diferentes escenarios hipotéticos como aumentar o disminuir la biomasa de las cercas vivas, de los bosques, de las pasturas, entre otros usos del suelo. Además podrá aumentar o disminuir el número de animales que posee la finca, el uso de combustible, el consumo de electricidad, el uso de fertilizantes y observar el impacto de estos aumentos o disminuciones en la emisión, captura y balance de CO₂ de la finca. Con base a esto, el usuario podrá tomar diferentes decisiones, con el fin de que la finca posea un balance de CO₂ positivo en caso de ser emisora de CO₂ o aumentar el balance de CO₂ en caso de ser almacenadora. La Figura 42 muestra la sección de escenarios hipotéticos.

Índice	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA		ZOO TECNIA		Estimación de las emisiones, captura y balance de CO ₂ en fincas dedicadas a la ganadería		MAG	INTA	INIA																																							
	Portada																																															
	Instrucciones																																															
	Caracterización de la finca	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estructura de hato</th> </tr> <tr> <th>Categorías</th> <th>N° Animales</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Terneros/Terneras</td><td></td></tr> <tr><td>Hembras en crecimiento</td><td></td></tr> <tr><td>Machos en crecimiento</td><td></td></tr> <tr><td>Hembras adultas</td><td></td></tr> <tr><td>Machos adultos</td><td></td></tr> <tr><td>Caballos</td><td></td></tr> <tr><td>Búfalos</td><td></td></tr> <tr><td>Total:</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>				Estructura de hato		Categorías	N° Animales	Terneros/Terneras		Hembras en crecimiento		Machos en crecimiento		Hembras adultas		Machos adultos		Caballos		Búfalos		Total:	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Emisión de CO₂</th> </tr> <tr> <th>Fuente de Emisión</th> <th>Emisión (t de CO₂-eq/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Emisión de CH₄ por fermentación entérica</td><td>92,38</td></tr> <tr><td>Emisión de CH₄ por producción de excretas</td><td>1,49</td></tr> <tr><td>Emisión de N₂O por producción excretas</td><td>28,28</td></tr> <tr><td>Emisión de N₂O por fertilización</td><td></td></tr> <tr><td>Emisión de CO₂ por combustibles</td><td>2,98</td></tr> <tr><td>Emisión de CO₂ por electricidad</td><td>0,02</td></tr> <tr><td>Total</td><td>125,14</td></tr> </tbody> </table>					Emisión de CO ₂		Fuente de Emisión	Emisión (t de CO ₂ -eq/año)	Emisión de CH ₄ por fermentación entérica	92,38	Emisión de CH ₄ por producción de excretas	1,49	Emisión de N ₂ O por producción excretas	28,28	Emisión de N ₂ O por fertilización		Emisión de CO ₂ por combustibles	2,98	Emisión de CO ₂ por electricidad	0,02	Total	125,14
	Estructura de hato																																															
	Categorías	N° Animales																																														
	Terneros/Terneras																																															
	Hembras en crecimiento																																															
	Machos en crecimiento																																															
	Hembras adultas																																															
Machos adultos																																																
Caballos																																																
Búfalos																																																
Total:	0																																															
Emisión de CO ₂																																																
Fuente de Emisión	Emisión (t de CO ₂ -eq/año)																																															
Emisión de CH ₄ por fermentación entérica	92,38																																															
Emisión de CH ₄ por producción de excretas	1,49																																															
Emisión de N ₂ O por producción excretas	28,28																																															
Emisión de N ₂ O por fertilización																																																
Emisión de CO ₂ por combustibles	2,98																																															
Emisión de CO ₂ por electricidad	0,02																																															
Total	125,14																																															
Estructura de hato					<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Captura de CO₂</th> </tr> <tr> <th>Uso del Suelo</th> <th>Captura (t de CO₂/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Cercas vivas</td><td>15,31</td></tr> <tr><td>Bosque secundario</td><td>170,85</td></tr> <tr><td>Pastura Mejorada ADA</td><td></td></tr> <tr><td>Pastura Mejorada BDA</td><td>103,25</td></tr> <tr><td>Pastura Mejorada SA</td><td></td></tr> <tr><td>Banco Forrajero Energético</td><td>1,70</td></tr> <tr><td>Banco Forrajero Proteico</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>Total</td><td>291,96</td></tr> </tbody> </table>					Captura de CO ₂		Uso del Suelo	Captura (t de CO ₂ /año)	Cercas vivas	15,31	Bosque secundario	170,85	Pastura Mejorada ADA		Pastura Mejorada BDA	103,25	Pastura Mejorada SA		Banco Forrajero Energético	1,70	Banco Forrajero Proteico	0,25	Total	291,96																			
Captura de CO ₂																																																
Uso del Suelo	Captura (t de CO ₂ /año)																																															
Cercas vivas	15,31																																															
Bosque secundario	170,85																																															
Pastura Mejorada ADA																																																
Pastura Mejorada BDA	103,25																																															
Pastura Mejorada SA																																																
Banco Forrajero Energético	1,70																																															
Banco Forrajero Proteico	0,25																																															
Total	291,96																																															
Fertilización	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Fertilización</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% de valoración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aumento de Fertilizante</td><td></td></tr> <tr><td>Reducción de Fertilizante</td><td></td></tr> </tbody> </table>				Fertilización			% de valoración	Aumento de Fertilizante		Reducción de Fertilizante		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Balance de CO₂ (t de CO₂-eq/año)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Balance de CO₂ (t de CO₂-eq/año)</td><td>166,81</td></tr> <tr><td>Balance de CO₂ (t de CO₂-eq/ha)</td><td>3,71</td></tr> </tbody> </table>					Balance de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/año)				Balance de CO₂ (t de CO₂-eq/año)	166,81	Balance de CO₂ (t de CO₂-eq/ha)	3,71																							
Fertilización																																																
	% de valoración																																															
Aumento de Fertilizante																																																
Reducción de Fertilizante																																																
Balance de CO ₂ (t de CO ₂ -eq/año)																																																
Balance de CO₂ (t de CO₂-eq/año)	166,81																																															
Balance de CO₂ (t de CO₂-eq/ha)	3,71																																															
Combustible	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Combustible</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% de valoración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aumento de Combustible</td><td></td></tr> <tr><td>Reducción de Combustible</td><td></td></tr> </tbody> </table>				Combustible			% de valoración	Aumento de Combustible		Reducción de Combustible																																					
Combustible																																																
	% de valoración																																															
Aumento de Combustible																																																
Reducción de Combustible																																																
Electricidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Electricidad</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% de valoración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aumento de Electricidad</td><td></td></tr> <tr><td>Reducción de Electricidad</td><td></td></tr> </tbody> </table>				Electricidad			% de valoración	Aumento de Electricidad		Reducción de Electricidad																																					
Electricidad																																																
	% de valoración																																															
Aumento de Electricidad																																																
Reducción de Electricidad																																																
Usos del suelo	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Cercas Vivas</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% de valoración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aumento de biomasa</td><td></td></tr> <tr><td>Reducción de biomasa</td><td></td></tr> </tbody> </table>				Cercas Vivas			% de valoración	Aumento de biomasa		Reducción de biomasa		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Pastura mejorada SA</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% de valoración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aumento de biomasa</td><td></td></tr> <tr><td>Reducción de biomasa</td><td></td></tr> </tbody> </table>					Pastura mejorada SA			% de valoración	Aumento de biomasa		Reducción de biomasa																								
Cercas Vivas																																																
	% de valoración																																															
Aumento de biomasa																																																
Reducción de biomasa																																																
Pastura mejorada SA																																																
	% de valoración																																															
Aumento de biomasa																																																
Reducción de biomasa																																																
Informe	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Bosque secundario</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% de valoración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aumento de biomasa</td><td></td></tr> <tr><td>Reducción de biomasa</td><td></td></tr> </tbody> </table>				Bosque secundario			% de valoración	Aumento de biomasa		Reducción de biomasa		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Pastura degradada</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% de valoración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aumento de biomasa</td><td></td></tr> <tr><td>Reducción de biomasa</td><td></td></tr> </tbody> </table>					Pastura degradada			% de valoración	Aumento de biomasa		Reducción de biomasa																								
Bosque secundario																																																
	% de valoración																																															
Aumento de biomasa																																																
Reducción de biomasa																																																
Pastura degradada																																																
	% de valoración																																															
Aumento de biomasa																																																
Reducción de biomasa																																																
Escenarios	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Pastura mejorada ADA</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% de valoración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aumento de biomasa</td><td></td></tr> <tr><td>Reducción de biomasa</td><td></td></tr> </tbody> </table>				Pastura mejorada ADA			% de valoración	Aumento de biomasa		Reducción de biomasa		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Banco Forrajero Energético</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% de valoración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aumento de biomasa</td><td></td></tr> <tr><td>Reducción de biomasa</td><td></td></tr> </tbody> </table>					Banco Forrajero Energético			% de valoración	Aumento de biomasa		Reducción de biomasa																								
Pastura mejorada ADA																																																
	% de valoración																																															
Aumento de biomasa																																																
Reducción de biomasa																																																
Banco Forrajero Energético																																																
	% de valoración																																															
Aumento de biomasa																																																
Reducción de biomasa																																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Pastura mejorada BDA</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% de valoración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aumento de biomasa</td><td></td></tr> <tr><td>Reducción de biomasa</td><td></td></tr> </tbody> </table>				Pastura mejorada BDA			% de valoración	Aumento de biomasa		Reducción de biomasa		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Banco Forrajero Proteico</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% de valoración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aumento de biomasa</td><td></td></tr> <tr><td>Reducción de biomasa</td><td></td></tr> </tbody> </table>					Banco Forrajero Proteico			% de valoración	Aumento de biomasa		Reducción de biomasa																								
Pastura mejorada BDA																																																
	% de valoración																																															
Aumento de biomasa																																																
Reducción de biomasa																																																
Banco Forrajero Proteico																																																
	% de valoración																																															
Aumento de biomasa																																																
Reducción de biomasa																																																

Figura 42. Sección de escenarios hipotéticos de la hoja electrónica de estimación del balance de CO₂ en fincas ganaderas

6 CONCLUSIONES

La mayor emisión de GEI en las fincas es ocasionada por la fermentación entérica, entre el 73-78% de la emisión de GEI en las fincas corresponde a esta fuente.

El mayor secuestro de CO₂ en las tres fincas es capturado por la biomasa aérea de las pasturas y los bosques.

Existen diferentes ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de cercas vivas y bosques secundarios en condiciones del trópico húmedo, sin embargo no todas se adaptan a las condiciones de las fincas.

Las densidades aparentes del suelo de las tres fincas en estudio se encuentran dentro del rango adecuado (0.95-1,19 g/cm³).

Al estimar la biomasa aérea de los bosques secundarios de las tres fincas por medio de ecuaciones alométricas, se obtuvo una biomasa promedio similar a los valores por defecto establecidos por el IPCC para biomasa de bosques secundarios en el trópico.

Al estimar la emisión de metano por tres modelos diferentes de estimación se concluye que al utilizar el modelo 2 y 3 se obtienen resultados similares y que la diferencia entre éstos y el modelo 1 es mínima.

Las tres fincas evaluadas son almacenadoras netas ya que poseen un balance promedio de CO₂ positivo en 626,64 t de CO₂-eq/año.

7 RECOMENDACIONES

Se recomienda el mejoramiento genético de los animales mediante cruces planeados o la selección dentro de las razas, brindar una nutrición adecuada y mejorar la eficiencia reproductiva, la sanidad animal y la vida reproductiva, ya que al mejorar la productividad animal se reduce el ciclo de producción y por tanto la intensidad de las emisiones de los GEI por kilogramo de carne es menor.

Para mejorar la nutrición se recomienda el uso de forrajes bajos en fibra y ricos en azúcares y proteína cruda para reducir las emisiones de metano por unidad de producto. Asimismo, se recomienda el uso de lípidos en las dietas, ya que la adición de grasas en la dieta disminuye las emisiones de metano, mediante la reducción de microorganismos fermentadores en el rumen y al capturar hidrógenos a través de la biohidrogenación, lo que reduce la disponibilidad de hidrógeno para la formación de metano. También se recomienda el uso de fitoquímicos en la dieta, inhibidores de protozoarios, como las saponinas provenientes de fuentes comerciales de plantas del desierto (*Yucca schidigera*) y la adición de ionóforos, como la monensina porque reduce la relación acetato:propionato y disminuye las emisiones de metano debido al incremento de la eficiencia fermentativa.

Para la finca La Dibujada, se recomienda reducir el periodo de rotación de las pasturas a 35 días, para evitar que los animales consuman un forraje lignificado, ya que al mejorar la digestibilidad del forraje, en animales en pastoreo, se reduce las emisiones de metano por unidad de producto generado.

Para la finca La Dibujada y Térraba se recomienda realizar ecografías como un método de diagnóstico después del parto con el fin de determinar la presencia de infecciones uterinas, retención de placentas y si la evolución uterina es adecuada y con base en el diagnóstico suministrar tratamientos eficaces, implementar técnicas de inseminación o recurrir a métodos de sincronización por medio de hormonas reproductivas con el fin de disminuir los problemas reproductivos y aumentar la eficiencia reproductiva para mejorar la productividad de los animales.

Se recomienda el uso implantes y β agonistas ya que disminuyen las emisiones de metano debido al mejoramiento en la productividad de los animales.

También se recomienda aumentar la cantidad de cercas vivas y la densidad de árboles en potreros, ya que son las fuentes de captura que presentaron el menor almacenamiento de CO₂, además porque cumplen la función de proveer sombra a los animales lo que evita que desperdicien energía en enfriarse,

contribuyen a disminuir el calentamiento global y podrían aumentar la rentabilidad de la finca al entrar al mercado voluntario de carbono. También se recomienda conservar las áreas cubiertas por bosque y sistemas silvopastoriles.

Para mejorar la calidad del suelo se recomienda el encalado en una dosis de 0,4 t/ha, 0,2 t/ha y 3,0 t/ha de CaCO₃ (dolomita) al final de la época lluviosa, para la finca La Dibujada, San Antonio y Térraba respectivamente, y para la finca Térraba además se recomienda 22 días después del encalado fertilizar con Granumax® una dosis de 2 sacos (50 kg) por hectárea y agregar un foliar como Metalosate de Potasio® para compensar las deficiencias de potasio.

7.1 Cuadro de Recomendaciones

El Cuadro 48 muestra el resumen de las recomendaciones sugeridas para cada una de los sistemas productivos evaluados.

Cuadro 48. Resumen de recomendaciones para la finca La Dibujada, San Antonio y Térraba

Indicador	La Dibujada	San Antonio	Térraba
Acidez y pH	Encalar	Encalar	Encalar
Rotación de potreros	Reducir a 35 días		
Intervalo entre partos	Reducir a 14 meses		Reducir a 14 meses
Periodo Abierto	Reducir a 100 días		Reducir a 100 días
Cercas Vivas	Aumentar la distancia		Aumentar la distancia
Árboles en potreros	Aumentar densidad de árboles	Aumentar densidad de árboles	Aumentar densidad de árboles

8 LITERATURA CITADA

- ALVARADO J., ANDRADE H., SEGURA M. 2013. Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. Colombia Forestal. 16(1): 21-31.
- ALVARADO L., CONTRERAS W., ALFARO M., JIMÉNEZ E. 2012. Escenarios de Cambio Climático regionalizados para Costa Rica. MINAET, IMN, San José, Costa Rica. 1060 p.
- ALVARADO A., FORSYTHE W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. Agronomía Costarricense 29(1): 85-94.
- AMÉZQUITA M., MURGUEITIO E., IBRAHIM M., RAMÍREZ B. 2008. Carbon Sequestration in Pasture and Silvo-pastoral Systems under Conservation Management in Four Ecosystems of Tropical America. FAO. Rome, Italia. 11 p.
- ANDRADE H., IBRAHIM M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? Agroforestería en las Américas. 10: 39-40.
- ANZOLA H., GIRALDO V. 2015. Rotación potreros, una herramienta para incrementar la producción. Desarrollo Ganadero. Carta FEDEGAN N° 149: 66-68.
- ARAYA M., BOSCHINI C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de (*Pennisetum purpureum*) en la meseta central de Costa Rica. Agronomía Mesoamericana. 16(1): 37-43.
- ARGUEDAS M. 2012. La huella de carbono del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú. 9 (22): 51-59.
- ARREAGA W. 2002. Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén. Guatemala. Tesis de maestría. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 73p.
- ARRONIS V. 2012. Bancos forrajeros de energía y proteína como estrategia para enfrentar los efectos negativos del cambio climático. INTA. 5 p.
- ARRONIS V. 2010. Manual de recomendaciones sobre sistemas intensivos de producción de carne. INTA. San José, Costa Rica. 24 p.

- ARRONIS V. 2003. Recomendaciones sobre sistemas intensivos de producción de carne: Estabulación, Semiestabulación y Suplementación estratégica en pastoreo. INTA. San José, Costa Rica. 62 p.
- ARRONIS V. 2004. Descripción y adaptación de forrajes. INTA. San José, Costa Rica. 6 p
- ARRONIS V., MORA V. 2011. Validación metodológica para alcanzar la carbono neutralidad en finca agroforestal en la Región Brunca. INTA. Costa Rica. 25 p.
- ÁVILA 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*. 8(3): 32-35.
- ÁVILA 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 de maestría. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 116 p.
- BAVERA G. 2008. Momento del destete. Producción animal. Argentina. 7 p.
- BANCO CENTRAL DE COSTA RICA. 2016. Tipo de cambio de compra y de venta del dólar de los Estados Unidos de América. Consultado el 21 de mayo del 2016 de: <http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/fmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20400>
- BEAUCHEMIN K., JANZEN H., LITTLE S., MCALLISTER T., MCGINN S. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada – Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Animal. Feed Science Technology*. 166–167: 663–677.
- BEAUCHEMIN K., MCGINN S. 2005. Methane Emissions from Feedlot Cattle Fed Barley or Corn Diets. *Journal of Animal Science*.83: 653-661.
- BEER J., HARVEY C., IBRAHIM M., HARMAND J., SOMARRIBA E., JIMENEZ F. 2003. Servicios Ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*. 10: 80-87.
- BERRA G., FINSTER L. 2002. Emisión de gases de efecto invernadero; influencia de la ganadería Argentina. INTA. Argentina. 4 p.

- BERTSCH F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- BOBADILLA O., BENÍTEZ M. 2013. Rendimiento de 10 gramíneas forrajeras tropicales. *Investigación Agraria*. 6(1): 27-30.
- BROUCEK J. 2014. Production of Methane Emissions from Ruminant Husbandry. *Journal of Environmental Protection*. 5: 1482-1493.
- BROWN, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests. FAO. Roma, Italia. 55 p.
- CAMBRA M., GARCÍA P., ESTELLÉS F., TORRES A. 2008. Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: el factor de conversión de metano. *Archivos de Zootecnia*. 57: 89-101.
- CANCHILA E., SOCA M., OJEDA F., MACHADO R. 2009. Evaluation of the bromatological composition of 24 *Brachiaria spp.* accessions. *Pastos y Forrajes*. 32(4): 1-7.
- CÁRDENAS J. 2014. Balance de gases de efecto invernadero y efectividad del pago por servicios ambientales en fincas ganaderas, península de Nicoya, Costa Rica. Tesis de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 90 p.
- CARMONA J., BOLÍVAR D., GIRALDO L. A. 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*. 18(1):49-63.
- CASANOVA F., MALDONADO J., PETIT J., SOLORIO F., CASTILLO J. 2010. Acumulación de carbono en la biomasa de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo. *Revista Forestal Venezolana*. 54(1): 45-50.
- CASTILLO E., ESTRADA J., VALLES B., CASTELÁN O., OCAÑA E., JARILLO J. 2013. Rendimiento total de materia seca y calidad nutritiva de hojas y tallos jóvenes de cuatro accesiones de *Cratylia argentea* en el trópico húmedo de Veracruz, México. *Avances en Investigación pecuaria*. 17(1): 79-93.

- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE), MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (MAG). 2010. Determinación del Balance de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas de la región Chorotega, como elemento de referencia para mejorar la competitividad. Informe final. SP No: 14-2009. Programa de Ganadería y Manejo del Medio Ambiente (GAMA). Programa de fomento de la producción agropecuaria sostenible. CATIE. Turrialba, Cartago. 250 p.
- CERDAS R., VALLEJO E. 2010. Productividad del pasto camerún (*Pennisetum purpureum*) con varias dosis de nitrógeno y frecuencias de corte en la zona seca de Costa Rica. InterSedes. 11:180-195.
- CHACÓN M., ALICE C. 2013. Reservas de biomasa de árboles dispersos en potreros y mitigación al cambio climático. Agronomía Mesoamericana. 24(1):17-26.
- CHACÓN A., JIMÉNEZ G., MONTENEGRO J., SASA J., BLANCO K. 2010. Inventario Nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono 2010. IMN. San José, Costa Rica. 68 p.
- CHASE L. 2016. Methane Mitigation Strategies for Dairy Herds. 78th Annual Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. New York, USA. 232 p.
- CHOU S., GUTIÉRREZ E. 2013. Ecuación para estimar la biomasa arbórea en los bosques tropicales de Costa Rica. Tecnología en Marcha. 26 (2): 41-54.
- CHUNG Y, HE M., MCGINN S., MCALLISTER T., BEAUCHEMIN K. 2011. Linseed Suppresses Enteric Methane Emissions from Cattle Fed Barley Silage, but not from those Fed Grass Hay. Animal Feed Science Technology. 166–167:321–329.
- CLEMENS J., AHLGRIMM H. 2001. Greenhouse Gases from Animal Husbandry: Mitigation option. Nutrient Cycling in Agroecosystems.60: 287-300.
- CORRALES A. 2013. Estimación del balance de gases de efecto invernadero (GEI) en dos fincas en la zona de Turrialba, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 92 p.

- CORRALES L. 1998. Estimación de la cantidad de carbono almacenado y captado (masa aérea) en Bosques de Costa Rica. Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCA), Central American Protected Area System (CAPAS). 50 p.
- CORREA Y., MARIÑO S. 2010. Evaluación de la calidad nutricional de *Cratylia argentea* sometida a diferentes métodos de conservación, en el piedemonte llanero. Tesis de Licenciatura. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. 70 p.
- COULTER J., NAFZIGER E., WANDER M. 2009. Soil Organic Matter Response to Cropping System and Nitrogen Fertilization. *Agronomy Journal*. 101:592-599.
- COX K. 2008. *Brachiaria híbrido*. Tropical Forages Database. Consultado el 21 de mayo del 2016 de: <http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/pastures/Html/Brachiariahybrid.htm>
- DÁVALOS R., RODRIGUES M. MARTÍNEZ E. 2008. Almacenamiento de carbono, pp. 223-233. In R. Dávalos, M. Rodrigues y E. Martínez (eds.). Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad, manejo y conservación. INECOL e INE-SEMARNAT.
- DÁZA J. 2013. Provisión de los servicios ecosistémicos carbono y madera en pasturas activas del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica. Tesis de maestría. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 75 p.
- DE MELO E., ABARCA S. 2008. Cafetales para servicios ecosistémicos, con énfasis en el potencial de sumideros de carbono. Informe Final. CATIE-FUNACAFOR-COOCAFE-OIKOCREDIT. Costa Rica. 61 p.
- DOS SANTOS V., GIOLO R., GAMARRA E. 2015. Forage Fry Mass and Crude Protein of *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã under an Integrated Crop-Livestock-forest System. 3^d International Symposium on Integrated Crop-Livestock System. Brasília, Brazil. 1 p.
- FEEDIPEDIA. 2016. *Brachiara brizantha*. FAO. Roma, Italia. Consultado el 21 de mayo de 2016 de: <http://www.feedipedia.org/node/490>
- FEEDIPEDIA. 2016. *Cratylia argentea*. FAO. Roma, Italia. Consultado el 21 de mayo de 2016 de: <http://www.feedipedia.org/node/17365>

- FEEDIPEDIA. 2016. *Tithonia diversifolia*. FAO. Roma, Italia. Consultado el 21 de mayo de 2016 de: <http://www.feedipedia.org/node/15645>
- FEEDIPEDIA. 2016. *Pennisetum purpureum*. FAO. Roma, Italia. Consultado el 21 de mayo de 2016 de: <http://www.feedipedia.org/node/395>
- FERNÁNDEZ C. 2007. Sistema de pastoreo racional. Agromercado Temático. 27: 16-19.
- FLORES O., BOLIVAR D., BOTERO J., IBRAHIM M. 1998. Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajera para la suplementación de rumiantes en el trópico. *Livestock Research for Rural Development*. 10(1).
- FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO FORESTAL (FONAFIFO). 2016. Valor de una tonelada de carbono. San José, Costa Rica. Consultado el 9 de noviembre del 2016: <http://www.fonafifo.go.cr/contactenos/Preguntas.html>
- FONSECA W., ALICE F., MONTERO J., TORUÑO H., LEBLANC H. 2008. Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 46: 57-64.
- FORSTER P., RAMASWAMY V., ARTAXO P., BERNTSEN T., BETTS R., FAHEY D., HAYWOOD J., LEAN J., LOWE D., MYHRE G., NGANGA J., PRINN R., RAGA G., SCHULZ M., VAN DORLAND R. 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, pp. 131-234. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- GERBER P.J., STEINFELD H., HENDERSON B., MOTTET A., OPIO C., DIJKMAN J., FALCUCCI A., TEMPIO G. 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería: Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Roma, Italia. 153 p.
- GIL S. 2006. Engorde intensivo (feedlot), elementos que intervienen y posibles impactos en el medio ambiente. *Producción Animal*. Argentina. 10 p.

- GÓMEZ A., LOYA J., SANGINÉS L., GÓMEZ J. 2015. Composición química y producción del pasto *Pennisetum purpureum* en la época de lluvias y diferentes estados de madurez. Revista EDUCATECONCIENCIA. 6(7) 68-74.
- GONZÁLEZ I., BETANCOURT M., FUENMAYOR A., LUGO M. 2011. Producción y composición química de forrajes de dos especies de pasto Elefante (*Pennisetum sp.*) en el Noroccidente de Venezuela. Zootecnia Tropical. 29(1): 103-112.
- GONZÁLEZ A., CARLSSON-KANYAMA A. 2007. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero con alto potencial de calentamiento global: el sector agropecuario. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 11: 01.07-01.14
- GUERRA S. 2011. ¿Qué debemos tener en cuenta para incorporar la caña de azúcar en la dieta de nuestros animales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina. 1 p.
- GUIOT J. 2005. Evaluación de híbridos de *Brachiaria* bajo pastoreo para producción de leche en Huimanguillo, Tabasco. XVIII Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Tabasco, México. 100-107.
- HASSÁN J., RÍOS L., ESPINOSA J., URRIOLOA D. 2015. Fijación de carbono en biomasa de cercas vivas de fincas ganaderas del río la Villa. IDIAP, Panamá, Panamá. 2p.
- HENNING S., GERBER P., WASSENAAR T., CASTEL V., ROSALES M., DE HAAN C. 2009. La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones. FAO. Roma, Italia. 493 p.
- HINDRICHSEN I., WETTSTEIN H., MACHMULLER A., KREUZER M. 2006. Methane Emission, Nutrient Degradation and Nitrogen Turnover in Dairy Cows and their Slurry at Different Milk Production Scenarios with and without Concentrate Supplementation. Agriculture Ecosystems and Environment. 113: 150-161.
- HUGHES R., KAUFFMAN J., JARAMILLO V. 1999. Biomass, Carbon and Nutrient Dynamics of Secondary Forest in a Humid Tropical Region of Mexico. Ecology 80(6):1882-1907.

- IBRAHIM M., CHACÓN M., CUARTAS C., NARANJO J., PONCE G., VEGA P., CASASOLA F., ROJAS J. 2007. 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 Américas*. 45: 27-36.
- IBRAHIM M., CHACÓN M., MORA J., ZAMORA S., GOBBI J., LLANDERAL T., HARVEY A., MURGUEITIO E., CASASOLA F., VILLANUEVA C., RAMÍREZ E. 2005. Opportunities for Carbon Sequestration and Conservation of Water Resources on Landscapes Dominated by Cattle Production in Central America, pp. 27-34. In H. A. Wallace (eds.). *Integrated Management of Environment Services in Human-Dominated Tropical Landscape*. CATIE.
- INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL (IMN), MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA (MINAE). 2014. Costa Rica 2014: Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. San José, Costa Rica. 112 p.
- INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL (IMN). 2016. Factores de Emisión gases de efecto invernadero. IMN. San José, Costa Rica. 11 p.
- INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL (IMN). 2008. El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica. IMN. San José, Costa Rica. 75 p.
- INSTITUTO NICARAGÜENSE DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA). 2014. *Pennisetum purpureum*. Brochure Pasto CT-115. INTA. Nicaragua. 2 p.
- INSTITUTO PANAMEÑO DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA (IDIAP). 2006. Nuevas alternativas de manejo y utilización de especies forrajeras para la producción animal en distintos ecosistemas. Informe Técnico Final. Panamá. 17 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2013. Cambio Climático 2013, bases físicas: Resumen para responsables de políticas. 222 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2007. Cambio Climático 2007: informe de síntesis. Cambridge University Press. Ginebra, Suiza. 114 p.

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Kanagawa, Japón.
- JOBSEC. 2008. Impacts of Forest-to-Agriculture Conversion on Aboveground and Soil Carbon and Nitrogen Stocks along a Bioclimatic Gradient in Costa Rica. Tesis PhD. Oregon State University. Oregon, Estados Unidos. 186 p.
- LAGOS O., VENEGAS S. 2003. Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quesada, Río San Juan. Tesis de Licenciatura. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua. 121 p.
- LEMA M., RODRÍGUEZ P. 2005. Datos de campo para el encalado de suelos ácidos: aluminio como criterio. Respuesta de la cebada. Estación Fitopatológica do Areeiro. Galicia, España. 10 p.
- LEVIN R., RUBIN D. 2004. Estadística para Administración y Economía. Prentice Hall. México. 928 p.
- MAHECHA L., ESCOBAR J., SUÁREZ J., RESTREPO L. 2007. *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). Livestock Research for Rural Develment. 19(2): 16-17.
- MAHECHA L. ROSALES M. 2005. Valor nutricional del follaje de Botón de Oro (*Tithonia diversifolia* [Hemsl]. Gray), en la producción animal en el trópico. Livestock Research for Rural Develment. 17(9): 100-101
- MCKENZIE J., GRIFFITHS C. 2007. Cane tops as cattle fodder. Prime Fast 314. 2 p.
- MENA V. 2008. Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación en los sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. Tesis de Maestría. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 90 p.
- MÉNDEZ J. 2008. Agro-cadena de la ganadería bovina de carne de la Región Chorotega: Manual de recomendaciones para el manejo de la ganadería bovina de carne en la Región Chorotega. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 72 p.

- MÉRAZ O., URRUTIA J. 2006. Uso de la caña de azúcar en la alimentación de bovinos de doble propósito. Instituto Nacional de Investigaciones forestales, Agrícolas y Pecuarias. Boletín Informativo. México. 2 p.
- MESA H. 2009. Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería doble propósito con alternativas silvopastoriles en Yaracuy, Venezuela. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 225 p.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA (MINAE), MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (MAG), PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). 2013. Concepto NAMA Fincas Ganaderas Costa Rica Noviembre 2013: Un sector Ganadero más eco-competitivo a través de prácticas de producción bajas en emisiones y transformacionales. San José, Costa Rica. 12 p.
- MOLINA E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 45 p.
- MORA V. 2010. Balance de gases de efecto invernadero y la carbono neutralidad en sistemas agrosilvopastoriles de Costa Rica. VI Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaria Ing. Costa Rica. 24 p.
- 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 de Maestría. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 92 p.
- MORAES F. 2001. Determinación de carbono en bosques secundarios en el municipio de San Carlos, Nicaragua. Tesis de maestría .CATIE. Turrialba, Costa Rica. 100 p.
- NAHED J., VALDIVIESO A., CÁMARA J., AGUILAR R., GRANDE J., RUÍZ M., CHI J. 2012. El componente arbóreo de los potreros en la región media de la cuenca transfronteriza Grijalva (Tabasco-Chiapas).Universidad Autónoma Chapingo. Tabasco, México. 44 p.
- NARANJO J., CUARTAS C. 2011. Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia 6(1):9-19.

- NARANJO J., CUARTAS C, MURGUEITIO E., CHARÁ J., BARAHONA R. 2012. Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livestock Research for Rural Development*. 24(8): 150-151.
- NASCIMENTO C., BARROS D., DE MELO E., OLIVEIRA A. 2004. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*. 28(2): 385-392.
- NAVARRO F., RODRÍGUEZ E. 1990. Estudio de algunos aspectos bromatológicos del Mirasol (*Tithonia diversifolia* Hemsl y Gray) como posible alternativa de alimentación animal. Tesis de Licenciatura. Universidad del Tolima. Ibagué, Tolima. 98 p.
- NOVELLI L., MELCHIORI R., CAVIGLI O. 2009. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de C y N en diferentes tamaños de agregados. *Revista Científica Agropecuaria*. 13(1-2): 25-32.
- OFICINA CATALANA DEL CAMBIO CLIMÁTICO. 2011. Metodología de inventarios de GEI: Cuestiones básicas. Departamento de Territorio y Sostenibilidad. España. 9 p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). 2010. La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. CEPAL. Santiago, Chile 113 p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). 2015. Base de datos (FAOSTAT). Recuperado el 31 de marzo de 2015 de: http://faostat3.fao.org/browse/G1/*/*S
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). 2014. Emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra, América Latina y el Caribe. Infograma. 1 p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). 2008. Ganadería y Deforestación. Informes de la FAO sobre políticas pecuarias. 8 p.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). 2014. Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2013. Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero. N° 10. 8 p.

- OROZCO E. 2005. Bancos forrajeros. Un componente tecnológico indispensable para la producción intensiva en fincas ganaderas. MAG. 50 p.
- PATE F., ALVAREZ J., PHILLIPS J., EILAND B. 2002. Sugarcane as a Cattle Feed: Production and Utilization. Institute of Food and Agricultural Science. University of Florida. 21p.
- PARDO O. 2008. Gira técnica sobre recursos forrajeros. Centro de investigación La Libertad CORPOICA. Villavicencio, Meta, Colombia. 2 p.
- PELLETIER N., PIROG R., RASMUSSEN R. 2010. Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*. 103: 380–389.
- PETERS M., FRANCO L., SCHMIDT A., HINCAPIÉ B. 2003. Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores de Centroamérica. CIAT Publication No. 333. CIAT. Cali, Colombia. 1 p.
- PRATT L., RIVERA L., SANCHO F. 2010. Opciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica: Hacia la Carbono Neutralidad en el 2021. INCAE. San José, Costa Rica. 72 p.
- PRESTON T. 2016. Sugarcane as Animal Feed: an Overview. FAO. Consultado el 18 de Mayo del 2016 de: <http://www.fao.org/docrep/003/s8850e/S8850E05.htm>
- RAMASWAMY V., BOUCHER O., HAIGH J., HAUGLUSTAINE D., HAYWOOD J., MYHRE G., NAKAJIMA T., SHI G., SOLOMON S., BETTS R., CHARLSON R., CHUANG C., DANIEL J., DEL GENIO A., VAN DORLAND R., FEICHTER J., FUGLESTVEDT J., FORSTER P., GHAN S., JONES A., KIEHL J., KOCH D., LAND C., LEAN J., LOHMANN U., MINSCHWANER K., PENNER J., ROBERTS D., RODHE H., ROELOFS G., ROTSTAYN L., SCHNEIDER T., SCHUMANN U., SCHWARTZ S., SCHWARZKOPF M., SHINE K., SMITH S., STEVENSON D., STORDAL F., TEGEN I., ZHANG Y., JOOS F., SRINIVASAN J. 2001: Radiative Forcing of Climate Change, pp. 349–416. In: J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell, y C. A. Johnson(eds.). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

- RAMIN M., HUHTANEN P. 2013. Development of Equations for Predicting Methane Emissions from Ruminants. *Journal of Dairy Science*. 96: 2476-2493.
- REFINADORA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO (RECOPE). 2016. Precios Históricos. RECOPE. San José, Costa Rica. Consultado el 8 de febrero de 2016 de: <https://www.recope.go.cr/productos/precios/historicos/>
- RÍOS C. 1998. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. Conferencia electrónica de la FAO-CIPAV sobre agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Artículo No. 14.
- RÍOS C. SALAZAR A. 1995. Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray) una fuente proteica alternativa para el trópico. *Livestock Research for Rural Develment*. 6(3): 25-26
- ROSALES J. 2010. Producción de caña de azúcar para alimentación de bovinos. Agrícola Tanausu. Venezuela. 14 p.
- RUBIO M. 2010. La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los Alcornocales. Proyecto fin de carrera. Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 88 p.
- RUÍZ A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis de Maestría. CATIE, Turrialba, CR. 106 p.
- RUSSO R. 2009. Guía práctica para la medición de la captura de carbono en la biomasa forestal. EARTH. Guácimo, Limón. 17 p.
- SAALFELD R. 2013. Pastos mejorados y rotación de pasturas para la carbono neutralidad en la ganadería. INTA. San José, Costa Rica. 48 p.
- SÁNCHEZ A. 2010. Parámetros reproductivos de Bovinos en regiones Tropicales de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 55 p.
- SÁNCHEZ J. 2007. Utilización eficiente de las pasturas tropicales en la alimentación del ganado lechero. XI Seminario de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. Barquisimeto, Venezuela. 24 p.

- SÁNCHEZ J., VILLARREAL M., SOTO H. 2000. Caracterización nutricional de los componentes forrajeros de cuatro asociaciones gramíneas *Arachis pintoi*. *Nutrición Animal Tropical*. 6(1): 1-22.
- SANTANA M., MEDINA S. 2005: Producción de materia seca y calidad forrajera de *Cratylia argentea* (desv.) O. Kuntze bajo tres alturas y edades de corte en Bosque húmedo Tropical. *Livestock Research for Rural Development*. 17(116).
- SEGURA M., KANNINEN M. 2002. Inventarios para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales, pp. 202-213. In: L. Orozco y C. Brumér (eds.). *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central*. CATIE.
- SEGURA. M. 1999. Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central. Tesis de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 115 p.
- SEITER S., HORWATH W. 2004. Strategies for Managing Soil Organic Matter to Supply Plant Nutrients, pp.269-293. In: F. Magdoff y R. Weil (eds.). *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press.
- SILVA L. 2005. Fijación de CO₂ por parte de los arboles urbanos. Propuesta para un programa de captura para Bogotá D.C. Ponencia en Encuentro Internacional de Arborización. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. 12 p.
- SNOWDON P., RAISON J., KEITHH., MONTAGU K., BIK., RITSONP., GRIERSONP., ADAMS M., BURROWSW., EAMUS D. 2002. Protocol for Sampling Tree and Stand Biomass. National Carbon Accounting System Technical. Report No.31. Australian Greenhouse Office, Australia. 114 p.
- SOLER R., BRUNETTI R., SENESI N. 2002. Comparative Chemical and Spectroscopic Characterization of Humic Acids from Sewage Sludges and Sludgeamended Soils. *Soil Science*.167: 235-245.
- STERN N. 2007. Informe Stern: La Economía del Cambio Climático. Cambridge University Press. Cambridge. 673 p.
- STUDDERT G., ECHEVERRIA H. 2000. Rotations and Nitrogen Fertilization to Manage Soil Organic Carbon Dynamics. *Soil Science Society Ambient Journal*. 64:1496-1503.

- TORRES R., COSTA J., RESENDE H. 2001. Utilização da mistura cana-de-açúcar na alimentação de bvinos leiteiros. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia. 22 (211): 69-76
- TORRES J., ESPINOZA W., REDDIAR L., VÁZQUEZ A. 2011. Secuestro de carbono en potreros arbolados, potreros sin árboles y bosque caducifolio de Huatusco, Veracruz. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 13(3): 543-549.
- TORRES J., ESPINOZA W., REDDIAR L., VÁZQUEZ A. 2010. Secuestro de carbono en potreros y bosque caducifolio de Huatusco, México. VI congreso internacional de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. Panamá, Panamá. 37 p.
- TROPICAL FORAGES. 2016. *Cratylia argentea*. Tropical Forages Database. Consultado el 21 de mayo de 2016 de: http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Cratylia_argentea.htm
- URDANETA J. 2005. "La caña de azúcar": una opción para el ganadero, pp.231-235. In: C. González, E. Soto (eds.). Manual de Ganadería Doble Propósito. Ediciones Astro Data, S.A. Venezuela.
- VALLEJO M., GARNIER L., NÁJERA J. 2013. Guía metodológica para gestionar la huella de carbono en la industria cárnica. Deutsche Gesellschaft für. San José, Costa Rica. 52 p.
- VARVEL G.E. 1994. Rotation and Nitrogen Fertilization Effects on Changes in Soil Carbon and Nitrogen. Agronomy Journal. 86:319-325.
- VERDECIA, D., J. RAMÍREZ, I. LEONARD, Y. ÁLVAREZ, Y. BAZÁN, R. BODAS, S. ANDRÉS, J. ÁLVAREZ, F. GIRÁLDEZ, S. LÓPEZ. 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Cauto. REDVET 12(5): 1-13.
- ZAMORA F., RODRÍGUEZ N., TORRES D. YENDIS H. 2009. Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. Agricultura Técnica en México. 35(2) 211-218
- ZAMORA L. 2013. NAMA AGRÍCOLA: Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada en el sector Agrícola de Costa Rica. MAG. San José, Costa Rica. 23 p.

9 ANEXOS

Anexo 1. Encuesta

A) Información general de la finca

N° Finca	Nombre de la finca	Nombre del productor	Área de la finca (ha)	Dirección (Cantón, Distrito)

B) Mano de obra

Número de Jornales _____

C) Usos de la tierra

Usos de la tierra	Área (ha)	Observaciones
Cercas Vivas		
Bosque		
Pasturas		
Banco Forrajero Gramínea		
Banco Forrajero Leñosa		

D) Inventario animal de las fincas a analizar

Categoría	Cantidad
Terberos	
Hembras en crecimiento	
Machos en crecimiento	
Hembras adultas	
Machos adultos	
Caballos	
Total:	

Raza predominante en el hato: _____

E) Manejo reproductivo

Monta Natural_____, Inseminación Artificial_____

Palpaciones_____, exámenes andrológicos_____

N° de nacimientos por año _____ ó % de parición _____

F) Manejo de las pasturas

N° de potreros_____

Potrero	Área (ha)	Especie de pasto predominante

G) Muestreo de árboles en bosques

Parcelas	Número de árboles por parcela	Diámetro a la altura del pecho (DAP)	Altura Total
1			
2			
3			
4			
5			
6			

7			
8			
9			
10			
Total			

H) Muestro de árboles cercas vivas

Muestreo	Cantidad de árboles en 25 m lineales	Diámetro a la altura del pecho (DAP)	Altura Total
1			
2			
3			
Total			

I) Maquinaria, vehículos y equipo

Concepto	Cantidad
Tractor	
Rastra	
Arado	
Vehículo	
Bomba de agua para riego	
Picadora de pasto	
Romana	

J) Alimentación

Pastoreo_____

Sal y Minerales_____

Corte y Acarreo_____

Alimento Balanceado_____

K) Manejo sanitario

Vacunaciones_____

Desparasitaciones_____

Baños_____

L) Electricidad

Consumo total de energía (kW/h) _____

M) Combustible

Tipo de combustible_____ Consumo total (litros) _____

Tipo de combustible_____ Consumo total (litros) _____

Tipo de combustible_____ Consumo total (litros) _____

Anexo 2. Análisis químico y contenido materia orgánica del suelo de la finca La Dibujada

	-----cmol(+)/L-----				%				
	pH	Acidez	Bases	CICE	SA				
Nivel Crítico	<5,5	>0,5	5-25	5-25	10-50				
	4,6	0,5	8,8	9,3	5,37				
	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/k	Ca/k					
Nivel Crítico	2-5	2,5-15	10-40	5-25					
	2,26	8,67	28,33	19,67					
	----cmol(+)/L----		-----mg/L-----					%	
	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe	MO
Nivel Crítico	<4	<1	<0,2	<10	<3	<5	<1	<10	5
	5,9	2,6	0,3	11,7	2,0	60,3	19,7	115,0	2,20

Densidad Aparente: 1,19 g/cm³

Anexo 3. Análisis químico y contenido materia orgánica del suelo de la finca San Antonio

	-----cmol(+)/L-----				%				
	pH	Acidez	Bases	CICE	SA				
Nivel Crítico	<5,5	>0,5	5-25	5-25	10-50				
	5,0	0,3	9,9	10,2	2,97				
	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/k	Ca/k					
Nivel Crítico	2-5	2,5-15	10-40	5-25					
	3,57	7,00	32,00	25,00					
	----cmol(+)/L----		-----mg/L-----					%	
	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe	MO
Nivel Crítico	<4	<1	<0,2	<10	<3	<5	<1	<10	5
	7,5	2,1	0,3	7,3	1,8	49,7	6,3	35,3	1,41

Densidad Aparente: 1,11 g/cm³

**Anexo 4. Análisis químico y contenido materia orgánica del suelo de la finca
Térraba**

	-----cmol(+)/L-----				%				
	pH	Acidez	Bases	CICE	SA				
Nivel Crítico	<5,5	>0,5	5-25	5-25	10-50				
	4,0	3,8	0,9	4,7	80,85				
	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/k	Ca/k					
Nivel Crítico	2-5	2,5-15	10-40	5-25					
	1,67	3,00	8,00	5,00					
	----cmol(+)/L----		-----mg/L-----					%	
	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe	MO
Nivel Crítico	<4	<1	<0,2	<10	<3	<5	<1	<10	5
	0,5	0,3	0,1	15,0	0,7	22,7	7,0	258,3	3,72

Densidad Aparente: 0,95 g/cm³

Anexo 5. Composición nutricional y producción de forraje de la caña forrajera (*S. officinarum*)

Referencia	MS (%)	PC (%)	Producción Forraje (t MV/ha/año)
Orozco 2005	28,0	4,9	60,0
Orozco 2005	34,0		100,0
Guerra 2011	30,0	4,5	
Urdaneta 2005	26,2	2,6	55,0
Urdaneta 2005	28,7	4,7	73,0
Méraz y Urrutia 2006	25,0		200,0
Méraz y Urrutia 2006	30,0		400,0
Pate et ál. 2002	17,0	1,1	78,0
Pate et ál. 2002	30,5	3,1	90,0
Arronis 2010	26,5	7,8	
Preston 2016	30,0		
Rosales 2010		2,0	120,0
Rosales 2010		3,0	
Torres et ál. 2001			139,0
Torres et ál. 2001			221,0
Mckenzie y Griffiths 2007		5,5	
Mínimo	17,0	1,1	55,0
Máximo	34,0	7,8	400,0
Promedio	27,8	3,9	139,6

MV: Materia Verde, MS: Materia Seca, PC: Proteína Cruda

**Anexo 6. Composición nutricional y producción de forraje del botón de oro
(*T. diversifolia*)**

Referencia	MS (%)	PC (%)	Producción Forraje (t MV/ha/año)
Arronis 2012	27,00		90,00
Arronis 2012			130,00
Navarro y Rodríguez 1990	13,50		
Navarro y Rodríguez 1990	23,23		
Mahecha y Rosales 2005	14,10		
Mahecha y Rosales 2005	23,20		
Ríos y Salazar 1995	14,10		46,00
Ríos y Salazar 1995	23,20		82,00
Mahecha et ál. 2007	18,81		
Naranjo y Cuartas 2011	19,10	24,00	
Verdecia et ál. 2011	18,81	27,49	
Verdecia et ál. 2011	19,77	28,95	
Feedipedia 2016	19,80	21,20	
Pardo 2008	14,60	26,40	67,60
Ríos 1998			31,00
Ríos 1998			21,20
Mínimo	13,50	21,20	21,20
Máximo	27,00	28,95	130,00
Promedio	19,17	25,61	66,83

MV: Materia Verde, MS: Materia Seca, PC: Proteína Cruda

Anexo 7. Composición nutricional y producción de forraje de la cratylia (*C. argentea*)

Referencia	MS (%)	PC (%)	Producción Forraje (t MV/ha/año)
Orozco 2005	30,0	15,0	12,0
Arronis 2012	25,0		50,0
Arronis 2012	25,0		70,0
Sánchez 2007	28,0	16,0	40,0
Sánchez 2007	28,0	16,0	70,0
Santana y Medina 2005	33,1	19,1	
Correa y Mariño 2010	42,2	16,6	
Tropical Forages 2016		18,0	20,0
Tropical Forages 2016		30,0	20,0
Castillo et ál. 2013		19,7	
Flores et ál. 1998		23,8	
Feedipedia 2016		18,0	
Feedipedia 2016		30,0	
Mínimo	25,0	15,0	12,0
Máximo	42,2	30,0	70,0
Promedio	30,2	20,2	40,3

MV: Materia Verde, MS: Materia Seca, PC: Proteína Cruda

Anexo 8. Composición nutricional y producción de forraje del camerún (*P. purpureum*)

Referencia	MS (%)	PC (%)	Producción Forraje (t MV/ha/año)
Arronis 2012	18,0	13,0	
Arronis 2012	20,0	16,0	
Araya y Boschini 2005	17,2	9,7	35,5
Arronis 2010	19,5	13,4	
Sánchez 2007	17,5	8,6	40,0
Sánchez 2007	17,5	8,6	50,0
Feedipedia 2016	17,9	9,7	
González et ál. 2011	21,0	17,1	40,0
Gómez et ál. 2015	18,3	13,9	
Urdaneta 2005	19,5	7,2	
Urdaneta 2005	25,0	9,8	
Arronis 2003	25,0		40,0
INTA 2014		4,7	125,6
Cerdas y Vallejo 2010			44,1
Mínimo	17,2	4,7	35,5
Máximo	25,0	17,1	125,6
Promedio	19,7	11,0	53,6

MV: Materia Verde, MS: Materia Seca, PC: Proteína Cruda

Anexo 9. Composición nutricional y producción de forraje del pasto brizantha (*Brachiaria brizantha*)

Referencia	MS (%)	PC (%)	ED (Mcal/kg)	Prod. Forraje (t MS/ha/año)
Sánchez 2007	21,0	10,0	2,40	20
Sánchez 2007	25,0	12,0	2,60	25
Feedipedia 2016	29,0	10,4		
Canchila et ál. 2009	25,0	7,0		
Arronis 2010	26,2	8,4		
Cox 2008		12,0		28
Cox 2008		16,0		
Dos Santos et ál. 2015		9,7		22
Sánchez et ál. 2000			2,18	
Sánchez et ál. 2000			2,19	
Bobadilla y Benítez 2013				30,1
Guiot 2005				8
IDIAP 2006				19
Ruiz 2002				25
Arronis 2004				30
Mínimo	21,0	7,0	2,18	8,0
Máximo	29,0	16,0	2,60	30,1
Promedio	25,2	10,7	2,34	23,0

MS: Materia Seca, PC: Proteína Cruda, ED: Energía Digestible

Anexo 10. Cálculo para estimar la dosis de cal basados en % de saturación de acidez o Aluminio

$$D_{CaCO_3} = \frac{2 \cdot (\% SAI \text{ existente} - \% SAI \text{ deseable}) \cdot CICE}{100}$$

donde:

D_{CaCO_3} = Dosis de cal (CaCO₃) en t/ha

SAI = Saturación de acidez intercambiable

Anexo 11. Hoja electrónica de cálculo de las emisiones, captura y balance de CO₂ en ganadería