

**Aplicación del Tratamiento de Residuos Orgánicos de Ganadería Caprina como Estrategia
de Mitigación del Cambio Climático en Santander**

Gina Liseth Menjura Martínez

Id. 272258

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de

INGENIERA AMBIENTAL

Director del Proyecto

Kento Taro Magara Gómez

PhD en Química y Tecnología Ambiental

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bucaramanga

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, noviembre 2021

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios por iluminarme, bendecirme con mis padres Elsy Yaneth Martínez González, Jesús Antonio Menjura Velandia y mi hermano Giovanni Steven Menjura Martínez, quienes me brindaron su apoyo incondicional y me enseñaron a ser perseverante. Por esta razón, logré obtener el título de Ingeniera Ambiental con reconocimientos a nivel nacional, por mis trabajos colaborativos de investigación.

Asimismo, le agradezco al Señor por su infinita misericordia y por haberme dado la oportunidad de conocer a personas que aportaron en mi desarrollo profesional, espiritual y emocional durante mi carrera. Especial gratitud al director del proyecto el Doctor Kento Taro Magara Gómez por su orientación y compromiso.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GENERAL	14
2.1.1. OBJETIVO ESPECÍFICOS	14
3. MARCO TEÓRICO	15
3.1. Tratamientos de biomasa residual como estrategia de reducción de Gases Efecto Invernadero	15
4. METODOLOGÍA	19
4.1. FASE I. Cuantificación de las emisiones de gases efecto invernadero asociados con la ganadería caprina en Santander.	20
4.2. FASE II. Identificación de las alternativas de mitigación de los gases efecto invernadero generados por la capricultura para el territorio santandereano.	22
4.3. FASE III. Estimación del potencial de reducción de las emisiones generadas por los caprinos con respecto a los tratamientos seleccionados para Santander.	23
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1. Cuantificación de las emisiones de gases efecto invernadero asociados con la ganadería caprina en Santander.	26
5.1.1. Descripción de la ganadería caprina en Santander	26
5.1.2. Marco normativo de las Fuentes No convencionales de Energía Renovable	30

	5
5.1.3. Producción de la ganadería caprina en Santander	33
5.1.3. Estimación de emisiones de CO ₂ eq en Santander para el año 2020	37
5.2. Identificación de las alternativas de mitigación de los gases efecto invernadero generados por la capricultura para el territorio santandereano.	39
5.2.1. Descripción de las alternativas biológicas para mitigar el CO ₂ eq generado por los caprinos en el departamento	39
5.2.2. Priorización de las alternativas biológicas por aspecto sostenible	44
5.3. Estimación del potencial de reducción de las emisiones de metano generadas por los caprinos con respecto a los tratamientos seleccionados para Santander.	60
5.3.1. Cálculos del potencial de reducción de emisiones de CO ₂ eq por tecnología aerobia y anaerobia	60
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
7. REFERENCIAS	69
8. ANEXOS	73
8.1. ANEXO 1. Producción de CO ₂ eq de los caprinos en Santander	73
8.2. ANEXO 2. Estimación de la estimación de estiércol en Santander	81
8.3. ANEXO 3. Certificado de negocios verdes de CAPRISAN otorgado por la CAS	85
8.4. ANEXO 4. Mapa interactivo de las alternativas de mitigación de CO ₂ eq emitido por la capricultura en Santander	86
8.5. ANEXO 5. Reducción de metano por tratamiento aerobio y anaerobio	87

8.6. ANEXO 6. CO₂ eq de la reducción estimada por tratamiento aerobia y anaerobio 97

8.7. ANEXO 7. Registro fotográfico de la hacienda con más caprinos en Lebrija Santander 105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores de emisión de metano por temperatura para caprinos.	22
Tabla 2. Factor de reducción de metano por tratamiento biológico aerobio y anaerobio	24
Tabla 3. Beneficios de FNCER.....	32
Tabla 4. Comparativo de sistemas de producción caprino.....	37
Tabla 5. Matriz de Richman para Multicriterios.....	44
Tabla 6. Criterios de priorización para evaluar los tratamientos biológicos aerobios y anaerobios	47
Tabla 7. Municipios con oferta de estiércol caprino en Santander	48
Tabla 8. Estrategias ambientales implementadas por CAPRISAN.....	50
Tabla 9. Valoración de las agremiaciones	52
Tabla 10. Impactos ambientales y sanitarios valorados por tratamiento biológico aerobio y anaerobio.....	53
Tabla 11. Diferencias de los sistemas cerrados horizontal y vertical	55
Tabla 12. Valoración del manejo de la tecnología biológica aerobia y anaerobia.....	56
Tabla 13. Distribuidoras de biodigestores en el país	57
Tabla 14. Valoración del potencial de uso de la tecnología biológica aerobia y anaerobia	57
Tabla 15. Valoración del potencial de reducción de emisiones de metano por tecnología biológica aerobia y anaerobia	58
Tabla 16. Tecnología aerobia y anaerobia evaluada con criterios de priorización	59
Tabla 17. Estimación de CO ₂ eq de los caprinos por municipio y a nivel departamental para el 2020.....	73

Tabla 18. Estimación de estiércol por municipio y a nivel departamental para el 2020	85
Tabla 19. Reducción de metano de las tecnologías aerobias y anaerobia.....	97
Tabla 20. Equivalencia de CH ₄ reducido en CO ₂ por tratamiento aerobio y anaerobio	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de compostaje	15
Figura 2. Proceso de Digestión Anaerobia	16
Figura 3. Alternativas para el aprovechamiento del biogás.....	17
Figura 4. Alternativas de biogás y sus requerimientos de purificación	18
Figura 5. Fases del análisis de la aplicación del tratamiento de residuos caprinos en Santander como estrategia de mitigación de GEI	19
Figura 6. Procedimiento para cumplir con la Fase I.....	20
Figura 7. Procedimientos ejecutados en la Fase II.....	23
Figura 8. Métodos aplicados en la Fase III.....	23
Figura 9. Mapa de Santander	27
Figura 10. Estrategias DOFA de la ganadería caprina relacionada con las emisiones de metano	28
Figura 11. Matriz DOFA de la ganadería caprina relacionada con emisiones de metano.....	29
Figura 12. Marco normativo y autoridades competentes.....	31
Figura 13. Equivalencia de emisiones de CO ₂ para el ganado caprino en Santander.....	38
Figura 14. Estrategias DOFA de la DA en Santander	40
Figura 15. Matriz DOFA de la DA aplicada en Santander.....	41
Figura 16. Matriz DOFA del compostaje en Santander.....	42
Figura 17. Estrategias DOFA del compostaje en Santander.....	43
Figura 18. Estrategias DOFA del compostaje en Santander.....	43
Figura 19. CO ₂ eq reducido por el compostaje	61

Figura 20. Producción de estiércol de la hacienda con más caprinos en Lebrija Santander	62
Figura 21. CO ₂ equivalente emitido por la hacienda caprina de Lebrija Santander	63
Figura 22. CO ₂ equivalente reducido por tratamiento aerobia y anaerobia para la hacienda caprina de Lebrija Santander	66
Figura 23. Certificado de negocios verdes de CAPRISAN otorgado por la CAS.....	86
Figura 24. Herramienta interactiva desarrollada para el proyecto.....	87
Figura 25. Registro fotográfico de la hacienda con más caprinos en Lebrija Santander.....	105



RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Aplicación del Tratamiento de Residuos Orgánicos de Ganadería Caprina como Estrategia de Mitigación del Cambio Climático en Santander

AUTOR(ES): Gina Liseth Menjura Martínez

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): Kento Taro Magara Gómez

RESUMEN

El cambio climático causado por las actividades antropogénicas promueve la adopción de medidas que contribuyan con la mitigación de emisiones de gases efecto invernadero. Por esta razón, el presente estudio analizó la aplicación de las tecnologías biológicas para el tratamiento de estiércol caprino generado en Santander. En el análisis se utilizaron métodos numéricos y matrices de evaluación de criterios ambientales, sociales, económicos y técnicos para la implementación y estimación del potencial de reducción de emisiones de metano. Adicionalmente, se calculó la equivalencia en CO₂ para el estudio de la contaminación generada. La digestión anaerobia presentó mayores impactos positivos a comparación del compostaje como la reducción del 10% de emisiones, entre otros. Es decir, el proceso anaerobio es una oportunidad asequible, replicable y sostenible para el progreso de la capricultura de Santander.

PALABRAS CLAVE: Santander, Digestión Anaerobia, Compostaje, Mitigación, CO₂ eq, Estiércol Caprino

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Organic Waste Treatment Application from Goat Farming as a Climate Change Mitigation Strategy in Santander

AUTHOR(S): Gina Liseth Menjura Martínez

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: Kento Taro Magara Gómez

ABSTRACT

Climate change caused by anthropogenic activities promotes the adoption of measures that contribute to the mitigation of greenhouse gas emissions. Therefore, the present study analyzed the application of biological technologies for the treatment of goat manure generated in Santander. In the analysis, numerical methods and evaluation matrices of environmental, social, economic, and technical criteria were used for the implementation and estimation of the methane emission reduction potential. Additionally, the CO₂ equivalence was calculated to study the pollution generated. Anaerobic digestion presented greater positive impacts compared to composting such as a 10% reduction in emissions, among others. In other words, the anaerobic process is an affordable, replicable, and sustainable opportunity for the progress of the Santander goat farming.

KEYWORDS: Santander, anaerobic digestion, composting, mitigation, CO₂ eq, goat manure

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un riesgo medioambiental preponderante para la salud a nivel mundial. Los Gases Efecto Invernadero (GEI) se acumulan en la atmósfera de la tierra y absorben la radiación infrarroja del sol, intensificando sus efectos sobre el clima y bienestar de la humanidad. El dióxido de carbono (CO₂) es el gas referente a partir del cual se miden otros GEI. (MinAmbiente, 2021). Sin embargo, el metano (CH₄) tiene 25 veces el valor de potencial de calentamiento global del CO₂ por las eyecciones de los rumiantes que generan el 55.95%. Cabe resaltar que, en Colombia el uso de suelo de las hectáreas explotadas se distribuye en mayor proporción con 40.871.884 hectáreas para el sector pecuario. (IDEAM, 2018)

En Santander la capricultura cuenta con el 2.5% del total de los caprinos en Colombia, cuyo valor apreciable requiere de medidas que eviten impactos significativos con el tiempo (ICA, 2020). La crianza de caprinos se reconoce como una actividad sociocultural misional importante para el desarrollo de la población rural (ICA, 2017).

Por tal razón, el estudio inicia con una síntesis de la priorización de la tecnología óptima para el tratamiento del estiércol caprino y mitigación del gas metano emitido en Santander. Posteriormente se da a conocer una revisión documental de los procesos de compostaje y digestión anaerobia. En seguida, se presenta el análisis descriptivo de la valoración del aspecto ambiental, social, económico y técnico de los procesos biológicos. De esta manera, la investigación concluye el procedimiento con más impactos positivos o beneficios que genera su aplicación. Cabe resaltar que la investigación incentiva las buenas prácticas que garantizan la salubridad pública con un ambiente sano y se alinea con las metas del gobierno Colombia hacia una economía baja en carbono.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar la aplicación del tratamiento de residuos orgánicos de ganadería caprina como estrategia de mitigación del cambio climático en Santander.

2.1.1. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Cuantificar las emisiones de gases efecto invernadero asociadas con la ganadería caprina en Santander.
- Identificar las alternativas de mitigación de los gases efecto invernadero generados por la capricultura para el territorio Santandereano.
- Estimar el potencial de reducción de las emisiones de gases efecto invernadero generadas por los caprinos con respecto a los tratamientos seleccionados para Santander.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Tratamientos de biomasa residual como estrategia de reducción de Gases Efecto Invernadero

La presencia del riesgo potencial para la salud humana, la salud animal y el medio ambiente incentiva el aprovechamiento del estiércol caprino en el territorio santandereano. El recurso biomásico bajo procesos bioquímicos y termoquímicos genera subproductos de valor agregado como biofertilizante, biogás, calor y electricidad que suple necesidades básicas y genera ahorro. Los procesos bioquímicos son la fermentación anaerobia y aerobia como el compostaje. Asimismo, se han aplicado tratamientos termoquímicos como incineración o combustión, entre otros (Agugliaro, 2007)

La facilidad de manejo del compostaje ha incentivado su uso tanto en zonas rurales como urbanas y considerado en la toma de decisiones de minimización de impactos ambientales por las actividades antropogénicas. En la figura 1 se evidencia las condiciones para la correcta degradación de la materia orgánica que estabiliza los sustratos orgánicos y da como resultado un compost con diferente valor nutricional que aporta en la recuperación de los suelos (Agugliaro, 2007)



Figura 1. Proceso de compostaje

Fuente: (Diana Bustos, 2013)

La Biometanización o Digestión Anaerobia (en ausencia de oxígeno) es el tratamiento que permite la obtención de los cuatro subproductos mencionados en condiciones adecuadas (Ver **figura 2**) (FAO, 2011)

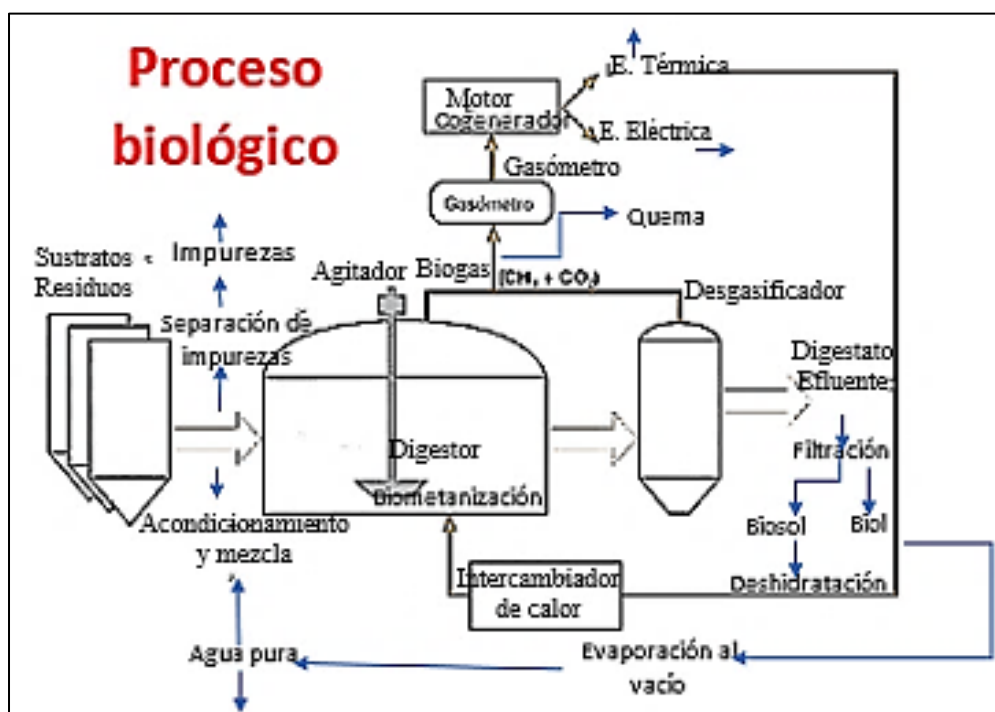


Figura 2. Proceso de Digestión Anaerobia

Fuente: (FAO, 2011)

El biogás es una fuente de hidrógeno sostenible por la materia prima 100% renovable que disminuye las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI). Está compuesto por una mezcla de gases compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono, el cual se produce por la fermentación de materia orgánica por la acción de un grupo de microorganismos. El subproducto es rentable cerca al centro de autogeneración porque cumple con las necesidades locales de calor y/o compensa las fluctuaciones de la generación de electricidad proveniente de sistemas eólicos y solares. Asimismo, sirve como fuente de energía en los vehículos eléctricos de celda combustible

y las pilas de combustible estacionarias. En la **figura 3** se observan en términos generales el aprovechamiento del biogás (ECOPETROL, 2018)

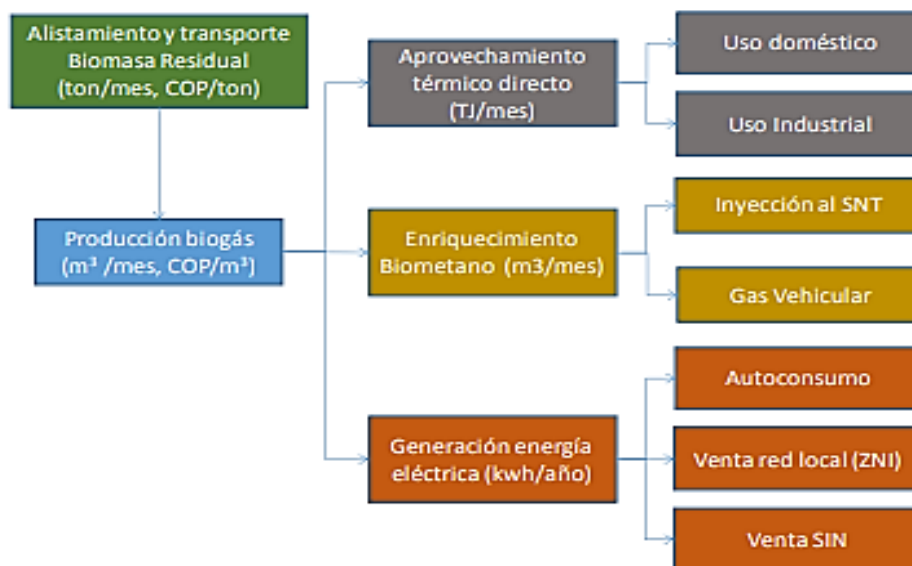


Figura 3. Alternativas para el aprovechamiento del biogás

Fuente: (UNAL, 2018)

La purificación del biogás es importante por dos razones principales: (FAO, 2011)

- Aumenta el poder calorífico del biogás
- Cumple los requerimientos de algunas aplicaciones de gas (motores, calderas, celdas de combustible, vehículos, etc.).

Los propósitos de purificación y/o acondicionamiento del biogás se resumen en la **figura 4**. El “tratamiento completo” implica que se elimina gran parte del CO₂, vapor de agua y otros gases traza del biogás, mientras que el “reformado” es la conversión de metano en hidrógeno (FAO, 2011).

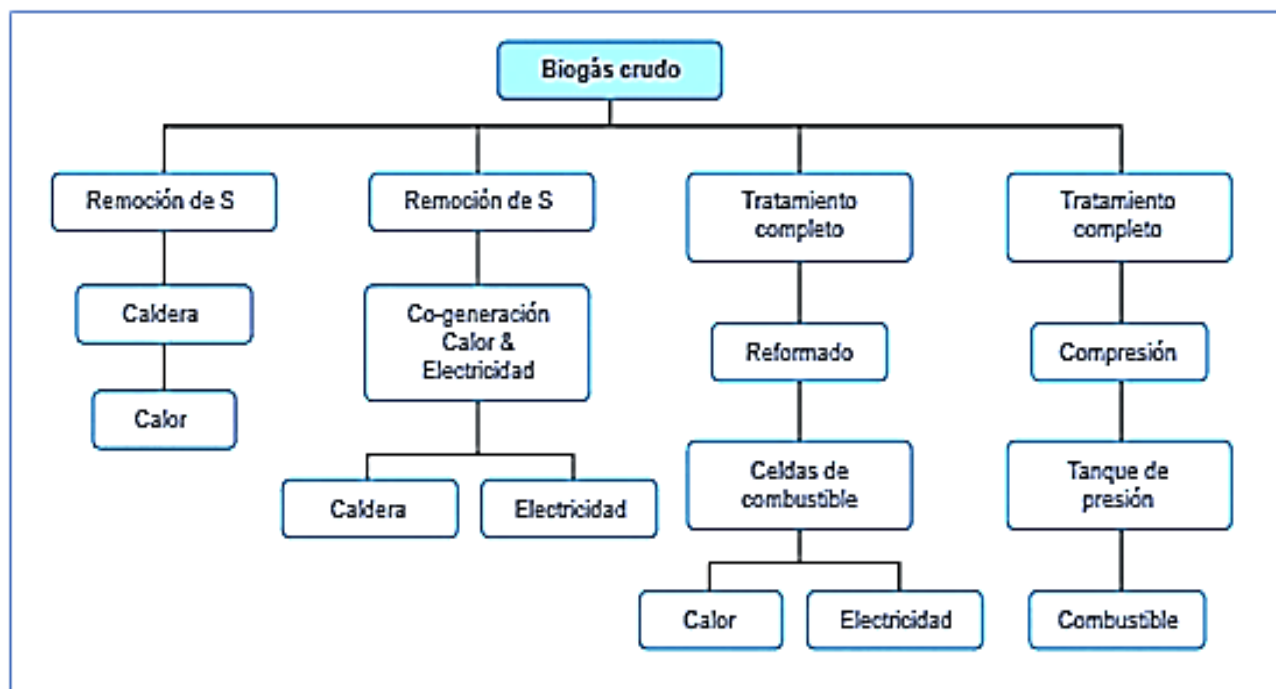


Figura 4. Alternativas de biogás y sus requerimientos de purificación

Fuente: (FAO, 2011)

La promoción de la Digestión Anaerobia DA se ha realizado en el país tanto por autoridades ambientales como por el sector académico. Por lo cual, existen plantas de DA con producción de Biogás en el sector Avícola, Porcícola, plantas de producción de leche y sus derivados, en industrias cerveceras plantas de beneficio animal, entre otras, algunas con aprovechamiento de Biogás y otras con quema directa. Sin embargo, la tecnología con mayor auge y con una tendencia creciente es el compostaje del cual se obtiene abono orgánico que bajo condiciones adecuadas es de alta calidad (UNAL, 2018)

4. METODOLOGÍA

El estudio es teórico con enfoque cuantitativo, en el cual se analizó la aplicación del tratamiento de residuos orgánicos procedentes de la ganadería caprina en el departamento de Santander (Colombia). El análisis especificó la situación actual, beneficios obtenidos por las tecnologías biológicas, así como el potencial de reducción del metano. Para ello, se efectuaron procedimientos acordes con el cumplimiento de los objetivos expuestos, descritos en los siguientes apartados. (Ver **figura 5**)

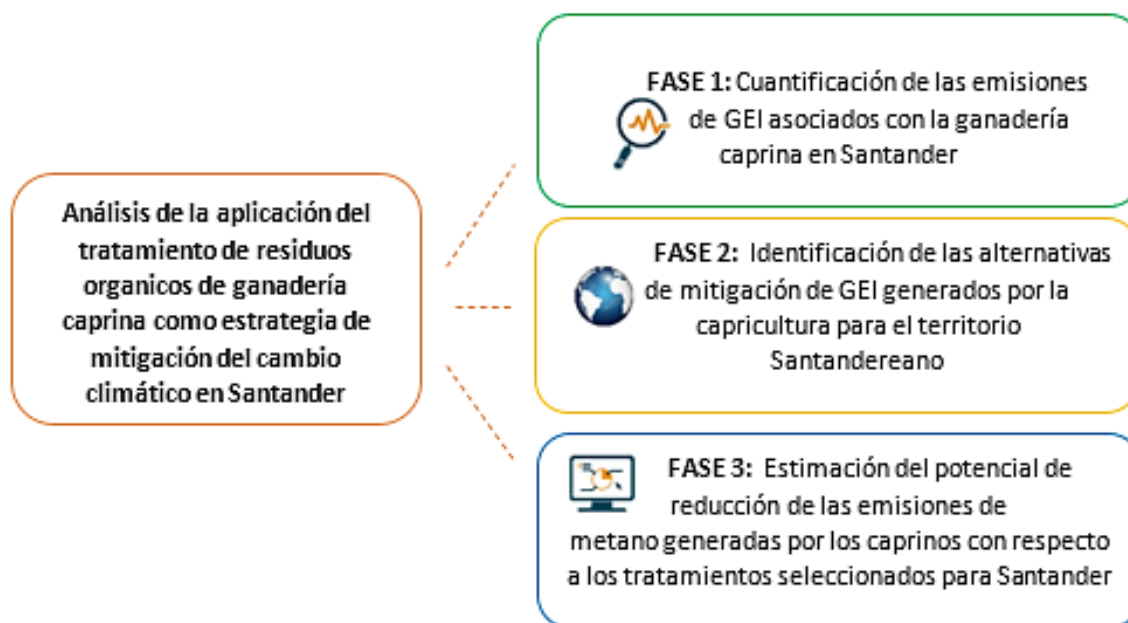


Figura 5. Fases del análisis de la aplicación del tratamiento de residuos caprinos en Santander como estrategia de mitigación de GEI

Fuente: La autora

4.1. FASE I. Cuantificación de las emisiones de gases efecto invernadero asociados con la ganadería caprina en Santander.

En primera instancia, se realizó una revisión documental de la ganadería caprina en Santander relacionada con las emisiones de metano por la gestión de estiércol. En seguida, se precisó la participación y las condiciones de las actividades del subsector. De igual forma, se estimó la generación de estiércol caprino (residuo de interés) con el método factor unitario descrito en la **ecuación 1**. Asimismo, se calculó el metano emitido por cada municipio mediante el método del nivel 1 simplificado dispuesto por el grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero (ver **ecuación 2**). Por ende, se halló su equivalencia en CO₂ con la **ecuación 3** para el respectivo análisis. (Ver **figura 6**).

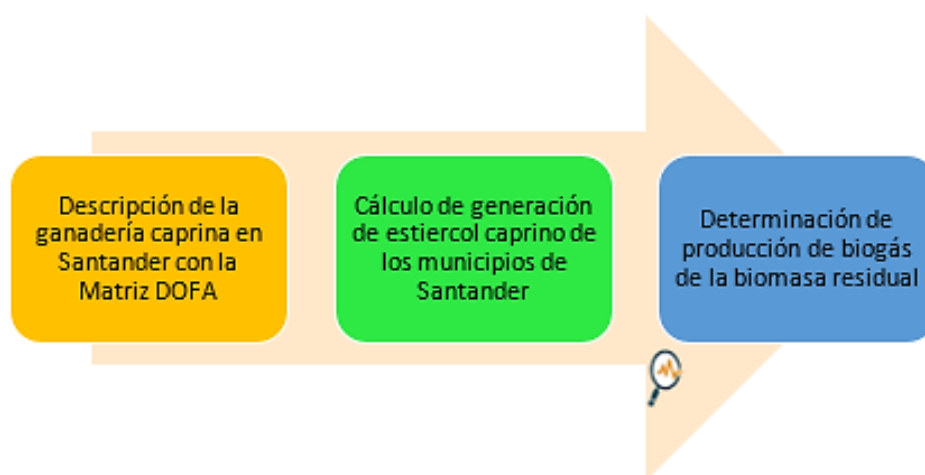


Figura 6. Procedimiento para cumplir con la Fase I

Fuente: La autora.

Ecuación 1. Producción de estiércol por caprino

$$P_E = \sum C * P_{TE}$$

Donde:

P_E : Producción de estiércol en *ton/año*

C : Total de caprinos por año

P_{TE} : Producción teórica de estiércol en *ton/año*. Cabe resaltar que 1 cabro genera 2 kg/día de estiércol o 0.73 ton/año. (FAO, 2011). El dato de estiércol se refiere a la cantidad apreciada que es posible recolectar de todo el producto. (FAO, 2011).

Ecuación 2. Emisiones de metano por gestión de estiércol

$$CH_{4E(C)} = \sum N_c * FE_C$$

Donde:

$CH_{4E(C)}$: emisiones de metano por la gestión de estiércol de la población definida kg CH₄/año

$N_{(C)}$: Cabezas de caprinos del país

C : Ganado caprino

FE_C : Factor de emisión de metano. Se determina por defecto la mayor similitud en operación por cada municipio con la **tabla 1**. (IPCC, 2006).

Ganado Caprino	Factor de emisión de CH ₄ según la temperatura promedio anual (°C)		
	Fría(<15°C)	Templada (15 a 25°C)	Cálida (>25 °C)
Países en desarrollo	0.11	0.17	0.22

Tabla 1. Factores de emisión de metano por temperatura para caprinos.

Fuente: Modificado de (IPCC, 2006).

Cabe resaltar que los factores de emisión representan el rango de contenido de sólidos volátiles del estiércol y de prácticas de gestión del estiércol empleados en cada región, así como la diferencia en las emisiones debida a la temperatura. La incertidumbre es de $\pm 30\%$. (IPCC, 2006).

4.2. FASE II. Identificación de las alternativas de mitigación de los gases efecto invernadero generados por la capricultura para el territorio santandereano.

En la **figura 7** se evidencian los instrumentos de priorización del tratamiento más efectivo para mitigar el gas metano emitido por la ganadería caprina y los beneficios obtenidos de la aplicación. En primer lugar, se utilizó la matriz DOFA como método de descripción de los tratamientos de biomasa residual. De acuerdo con lo anterior, se aplicó el procedimiento del 2-4 correspondiente a la matriz multicriterio para la preponderancia del tratamiento.

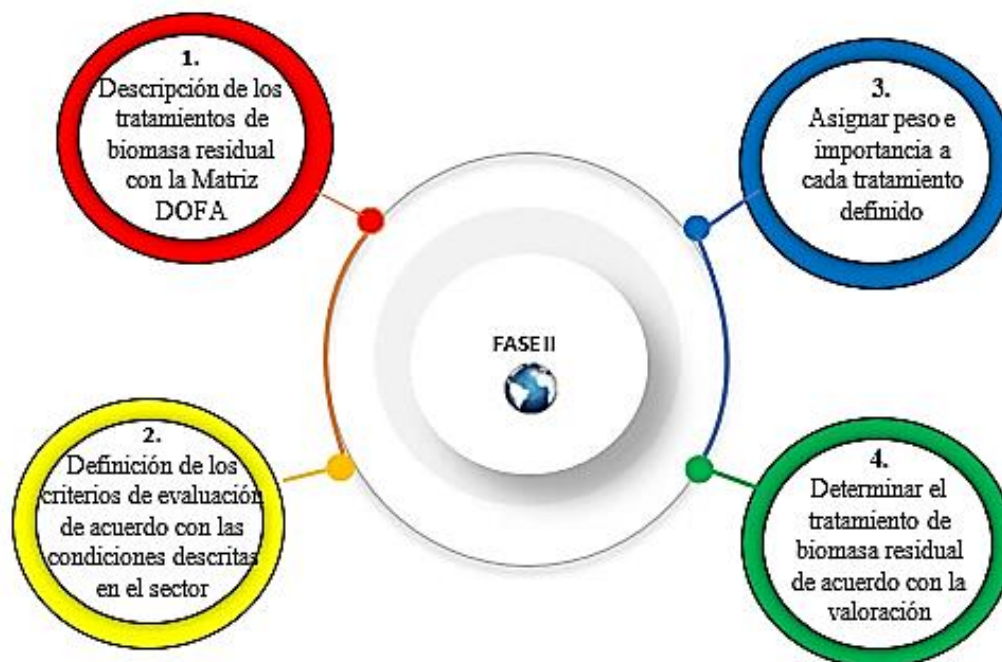


Figura 7. Procedimientos ejecutados en la Fase II

Fuente: La autora.

4.3. FASE III. Estimación del potencial de reducción de las emisiones generadas por los caprinos con respecto a los tratamientos seleccionados para Santander.

Teniendo en cuenta las anteriores fases, se determinó el potencial de reducción mediante el factor de metano por defecto de la IPCC para los sistemas de gestión de estiércol (ver **tabla 2**). Posteriormente, se tomaron las temperaturas anuales promedio y se aplicó la **ecuación 3** por municipio y a nivel departamental. Asimismo, se empleó la metodología planteada para un caso de estudio en Santander (Ver **figura 8**).

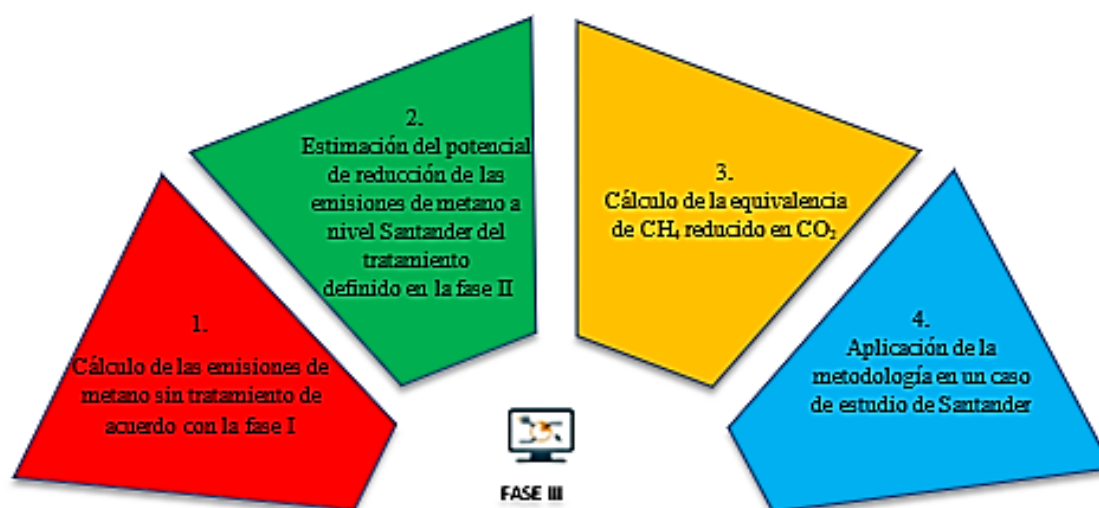


Figura 8. Métodos aplicados en la Fase III

Fuente: La autora

Ecuación 3. Emisiones reducidas de CH_4 por cada tecnología evaluada

$$CH_{4R(C)} = \sum CH_{4E(C)} * FE_{R(C)}$$

Donde:

$CH_{4R(C)}$ = metano reducido por el estiércol caprino por tecnología kg CH_4 /año

$CH_{4E(C)}$ = emisiones de metano por la gestión del estiércol, para una población definido kg CH_4 /año

C= Especie de ganado caprino

$FE_{R(C)}$ = factor de emisión reducido de metano generado por los caprinos de acuerdo con las tecnologías de estudio (ver **tabla 2**)

Sistema	Temperatura Promedio Anual (°C)																
	Frío				Templado					Cálido							
	≤ 11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Digestor anaeróbico	0-100%				0-100%					0-100%							
Fabricación de abono orgánico (compost)- en tambor	0.5%				0.5%					0.5%							
Fabricación de abono orgánico (compost)- Pila estática	0.5%				0.5%					0.5%							
Fabricación de abono orgánico (compost)- intensivo en filas	0.5%				1.0%					1.5%							
Fabricación de abono orgánico (compost)- pasivo en filas	0.5%				1.0%					1.5%							

Tabla 2. Factor de reducción de metano por tratamiento biológico aerobio y anaerobio

Fuente: Modificado de la (IPCC, 2006)

Teniendo en cuenta lo anterior, se toma el 10% promedio para todo tipo de clima en la digestión anaerobio de acuerdo con los estudios realizados por la (IPCC, 2006).

En terminos de huella de carbono o nombre dado a la totalidad de la emisión de GEI, el CO_2 es la referencia de los otros gases, a los que se considera causantes del calentamiento global. Por tal razón, se determina la equivalencia generada por municipio y a nivel departamental del metano caprino con la **ecuación 4**.

Ecuación 4. Equivalencia de CH₄ a CO₂

$$CO_2 eq = M_g * PCM$$

M_g = La masa del gas se halla a partir de la siguiente formula: *Factor de emisión* ($kgCH_4 * Cabeza^{-1} * año^{-1}$) * *Número de caprino*

PC = El potencial de calentamiento del metano es una medida teórica para comparar el cambio climático durante un periodo de tiempo específico (100 años) el cual es de 25. (IPCC, 2018)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta la sección metodológica y bases teóricas determinadas para el desarrollo del proyecto, en seguida se da a conocer el análisis descriptivo correspondiente a las alternativas biológicas de mitigación del metano generado por la ganadería caprina en Santander.

5.1. Cuantificación de las emisiones de gases efecto invernadero asociados con la ganadería caprina en Santander.

5.1.1. Descripción de la ganadería caprina en Santander

Santander ocupa el cuarto lugar departamental en Colombia por su importancia poblacional y económica, cuenta con 87 municipios y una extensión territorial de 30.537 km² (2,7% del territorio nacional). El departamento está situado en el norte del país formando parte de la región Andina y cubre la vertiente occidental de la Cordillera Oriental (Ver **figura 9**). Se encuentra comprendido entre los 5°26' y 8°08'' de latitud norte, 72°26' y 74° 32' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich, sobre la zona intertropical o latitudes bajas. Presenta climas cálidos, templados y páramos. (UROSARIO, 2020)

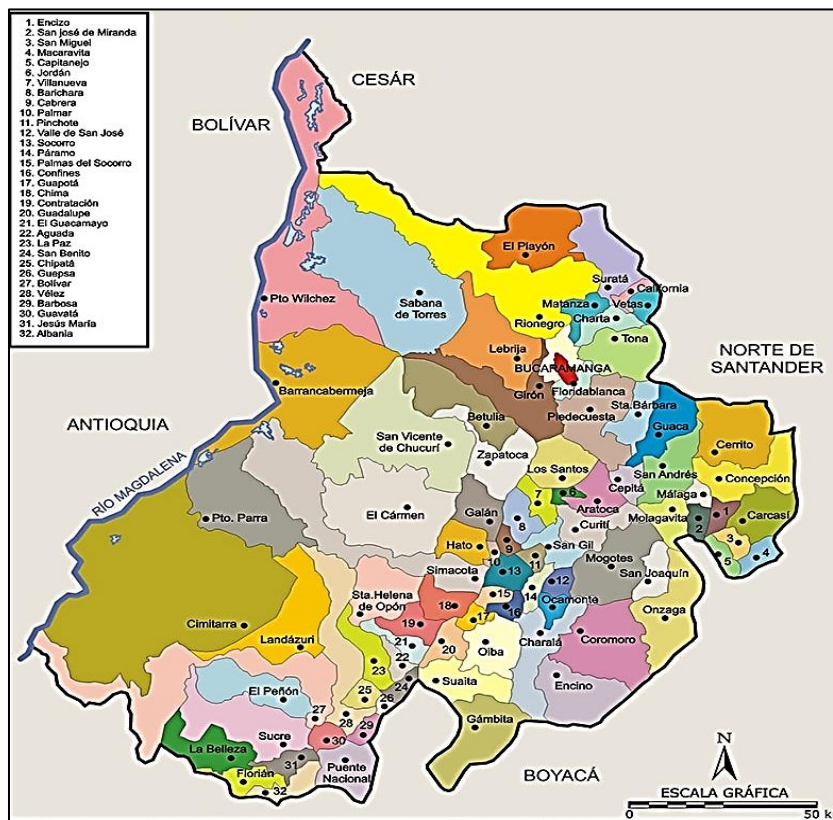


Figura 9. Mapa de Santander

Fuente: (IGAC, 2002)

La mayor parte de las áreas montañosas son aptas para la crianza de caprinos, considerada un sistema productivo alternativo para la economía familiar por el subproducto lácteo y carne. Por tal razón, es una de las especies con gran proyección por la producción e impulso que se ha evidenciado. (ICA, 2017)

En la **figura 10** se dan a conocer los factores internos y externos de la ganadería caprina en Santander relacionada con las emisiones de metano producidas. Asimismo, en la **figura 11** se comparan las fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades de las cuales se presentan estrategias de mejora enfocadas al éxito, reacción, adaptación y supervivencia del sector. (Betancourt, 2018), (UCC, 2019) & (LR, 2014))

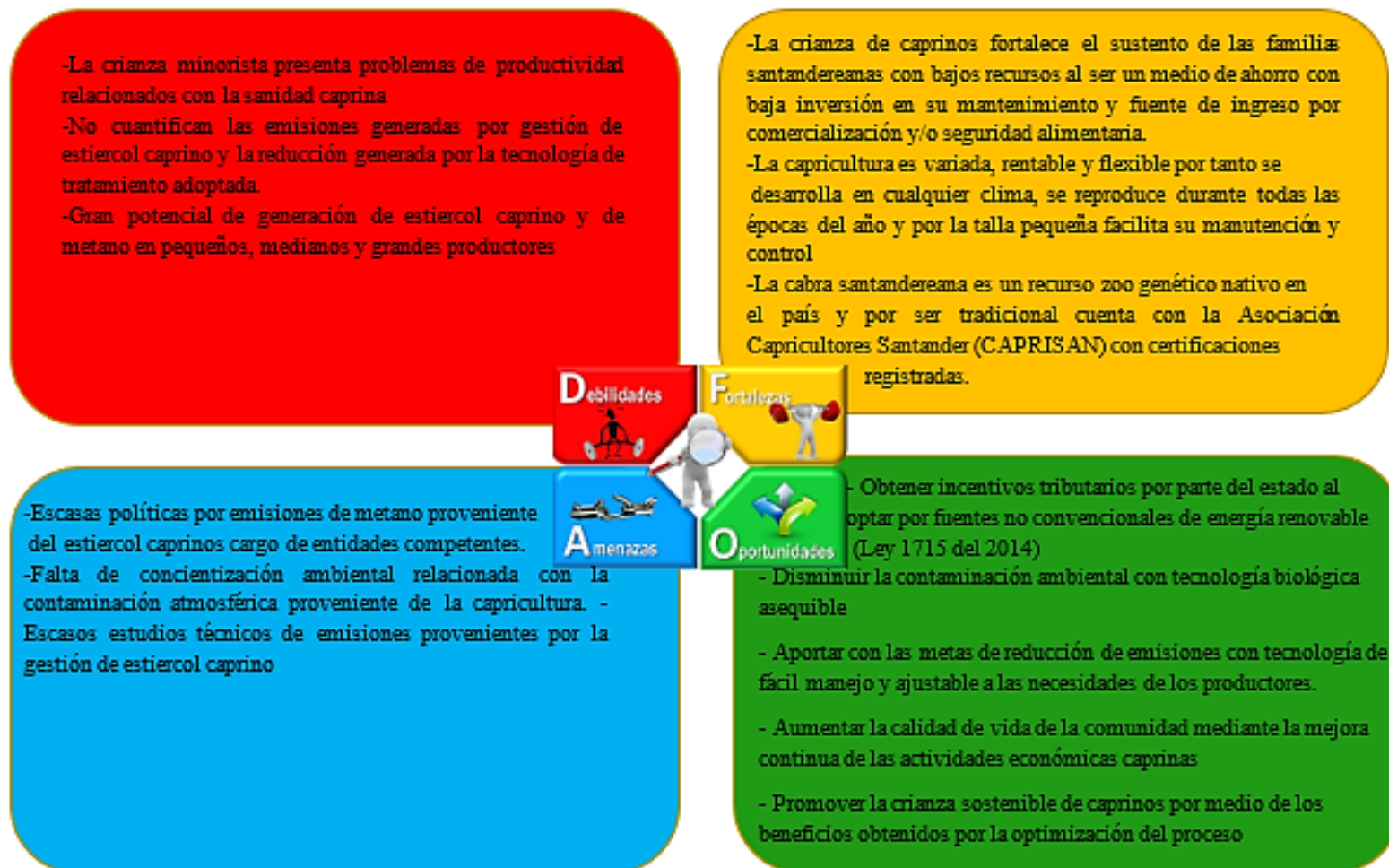


Figura 10. Estrategias DOFA de la ganadería caprina relacionada con las emisiones de metano

Fuente: La autora

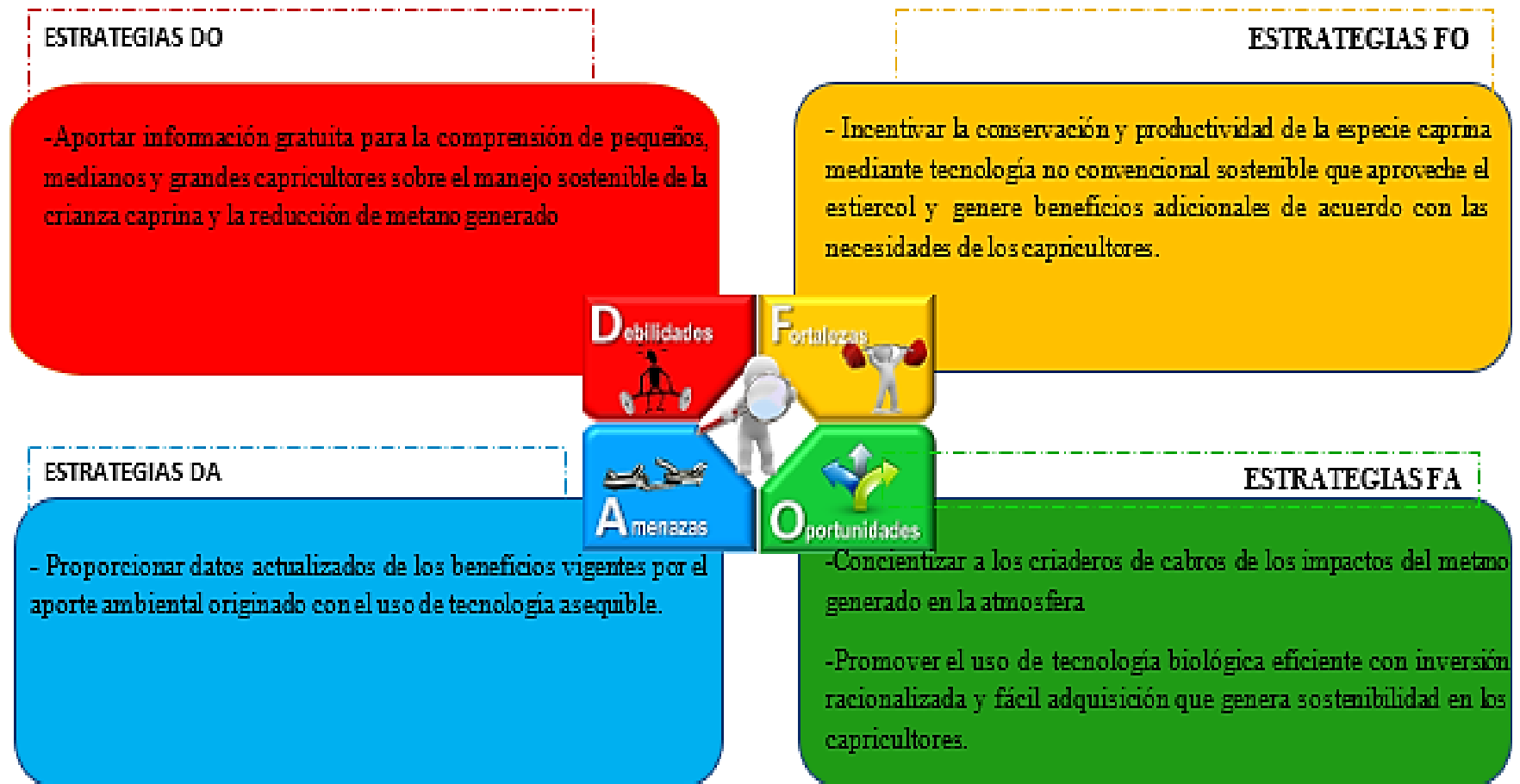


Figura 11. Matriz DOFA de la ganadería caprina relacionada con emisiones de metano

Fuente: La autora

5.1.2. Marco normativo de las Fuentes No convencionales de Energía Renovable

Es importante aclarar que las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR), son “ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleadas o utilizadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente como la biomasa, entre otras” (UPME, 2014)

De acuerdo con lo anterior, la **Ley 1715 de 2014** aplica en las oportunidades de los capricultores para obtener beneficios del gobierno debido a que tiene por objeto “promover el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las Zonas No Interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético”. Es decir, la ley fomenta los incentivos y la respalda el decreto y las resoluciones que reglamentan el acceso a los beneficios. (Ver **figura 12**). (UPME, 2014)



Figura 12. Marco normativo y autoridades competentes

Fuente: (UPME, 2014)

Los requisitos que deben cumplir quienes deseen implementar las Fuentes No Convencionales de Energía son: (UPME, 2014)

1. Contar con la certificación de beneficio ambiental expedida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.
2. Tener el certificado de registro de aval del proyecto, emitidos por la UPME.

Por otra parte, los beneficios tributarios que conlleva invertir en FNCE dispuestos en la normativa se dan a conocer en la **tabla 3**

BENEFICIOS	DESCRIPCIÓN GENERAL
<p>Deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014. • Artículo 2.2.3.8.2.1. y siguientes del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015) 	<p>Los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir FNCE o gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones. El valor para deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente.</p>
<p>Depreciación acelerada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artículo 14 de la Ley 1715 de 2014. • Artículo 2.2.3.8.5.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015). 	<p>Gasto que la ley permite que sea deducible al momento de declarar el impuesto sobre la renta, por una proporción del valor del activo que no puede superar el 20% anual.</p>
<p>Exclusión de bienes y servicios de IVA.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artículo 12 de la Ley 1715 de 2014. • Artículo 2.2.3.8.3.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015). • Ley 1715 art. 12, Decreto 2143 Artículo 2.2.3.8.3.1. 	<p>Por la compra de bienes y servicios, equipos, maquinaria, elementos y/o servicios nacionales o importados.</p>
<p>Exención de gravámenes arancelarios.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ley 1715 art. 13, Decreto 2143 de 2015 Arts. 2.2.3.8.4.1. 	<p>Exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre-inversión y de inversión de proyectos con FNCE.</p>

Tabla 3. Beneficios de FNCER

Fuente: (UPME, 2014)

5.1.3. Producción de la ganadería caprina en Santander

En el 2020, Santander se postuló dentro de los cinco departamentos con mayor presencia de caprinos en Colombia. Es decir, en el censo se totalizaron 29.716 caprinos alrededor del territorio santandereano, equivalentes al 2.9% del total de cabros en Colombia (1.034.615). De los municipios que constituyen el departamento, San Benito no cuenta con caprinos. Por tanto, la cantidad mínima fue de 3 cabros en Albania (0.01%) y la máxima de 2,371 caprinos en Zapatoca (7.98%). Cabe resaltar que Macaravita (5.68%), Cerrito (5.8%), Carcasí (5.84%) y Capitanejo (6.26%) presentan gran cantidad de caprinos en la zona bajo estudio. (ICA, 2020).

Los municipios de la cuenca de Chicamocha convirtieron en plato típico tradicional la preparación del cabro y la pepitoria que se ofrece en fechas de celebración, fiestas religiosas, matrimonios, bautizos o cumpleaños. En otros municipios solo se ofrece los días domingo o se mantienen como sustento unifamiliar o para fechas importantes. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

Algunos pobladores conservan la tradición de usar la piel de las cabras para la elaboración del zarzo (tejido de varas, cañas que forman una superficie plana), un material más fresco para dormir que la cama. De los cuernos y cascos se hacen artesanías resultado de la herencia de los indígenas Guanes y españoles. El estiércol o caprinaza es el segundo subproducto de la producción con más valor económico. En municipios como Villanueva, Capitanejo, Molagavita, entre otros es usado como un abono orgánico, destinado especialmente para los cultivos de cítricos, cebollas y papas entre otros. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

Las importaciones de razas especializadas lecheras desde 1980 fueron una oportunidad para la incorporación de tecnología, equipos e implementos y la capacidad técnica, orientando la

producción de leche, subproductos lácteos (dulces, quesos, yogurt) y la comercialización de animales con buen potencial genético. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

Las condiciones geográficas y socioculturales han permitido el desarrollo de sistemas de producción intensivo, semi-extensivo, extensivo diferenciados cada uno en el manejo nutricional, sanitario y reproductivo del rebaño, objetivos de producción y nivel de incorporación de tecnología. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

Sistema extensivo caprino

La producción en condiciones extensivas es de carácter regional, cuyas características de las especies propias de la región presentan innumerables factores positivos tales como: longevidad, resistencia a enfermedades, excelente aclimatación a ambientes áridos, producción de leche aceptable aun viviendo en lugares con pocas especies forrajeras, habilidad materna muy desarrollada y alta fertilidad. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

La oferta forrajera disponible está constituida por cují (*Prosopis juliflora*), matarratón (*Gliricidia sepium*), espino gallinero (*Pithecellobium dulce*), bejuco de chivo (*Centrosema pubescens*), Brasil (*Heamotoxylum brasileto*), cacho de cabra (*Popomax totuosa*), espino blanco o uña de cabra (*Acacia farnesiana*) entre otras especies arbustivas y siendo la producción de gramíneas escasa. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

El sistema extensivo cuenta con un manejo nutricional, sanitario y el control de parámetros productivos y reproductivos deficiente. Los rebaños son propiedad de comunidades indígenas, colonos de tierras baldías, productores poseedores de grandes extensiones o en terrenos comunales donde las bajas precipitaciones limitan el uso agrícola del suelo. Los animales destinados a la comercialización por lo general son vendidos por los propietarios en las fincas o en las ferias de ganado de los municipios. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

La tenencia de animales no sólo representa ganancia económica, también es un indicador de la seguridad alimentaria lo cual otorga un prestigio social. Por tal razón, el sistema permite intercambiar ganado caprino como sello de garantía de una nueva alianza denominada dote. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

Sistema semi-extensivo de producción caprino

El sistema semi-extensivo aplica algunas técnicas de manejo; el pie de cría es seleccionado a partir de los animales propios de la finca, los machos cabríos son adquiridos en otros predios o ferias de ganado. El objetivo de producción puede estar enfocado a la producción y comercialización de leche y subproductos lácteos y/o carne en canales o animales en pie, también los productos son destinados para el autoconsumo. (Autónoma de Chiapas, 2016)

Lo anterior permite la implementación de un esquema nutricional a partir de la suplementación alimenticia de sales mineralizadas, productos o subproductos obtenidos de las labores agrícolas de la finca. La oferta de forrajes está constituida por gramíneas como pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), pasto guineo (*Panicum maximum*) pasto puntero o yaragua (*Hypparrhenia rufa*), como pasturas de corte se cuenta con, pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), pasto king grass (*Pennisetum hybridum*) que son establecidos pequeñas áreas de la finca y en ocasiones es asociado con leguminosas arbustivas que se convierten en bancos de proteína. Gran parte de estas unidades de producción se encuentran cercanos de centros urbanos, lo que permite facilidad de comercialización de productos y compra de insumos. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

La cría y manejo reproductivo y sanitario está basado en la tradición oral y la experiencia del productor. La infraestructura de los corrales se condiciona a los materiales disponibles en la

finca. La asistencia técnica y procesos de capacitación es ofrecida por programas de fomento y de extensión rural estatales o privados. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

Sistema intensivo caprino

Este sistema de producción se diferencia de los otros dos sistemas por que cuenta con objetivos productivos y comerciales que obedecen a criterios técnicos y administrativos, con asistencia técnica en las áreas de sanidad, biotecnología reproductiva, genética, administración y producción agrícola. La alimentación de los animales se basa en pasturas y forrajes mejorados, complementados con alimentos balanceados comerciales y sales mineralizadas. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

En la **tabla 4** se da a conocer un análisis comparativo de los tres sistemas mencionados por ubicación, características y bióticos presentes.

Sistema	Ubicación	Características	Biotipos
Intensivo	Cerca de la capital	Nivel tecnológico: Medio alto. Tamaño de las explotaciones: pequeño 10-40 animales Productos: Carne para supermercados y exportación	En caprinas razas introducidas como Saanen, Toggenburg, Alpina, Nubiana, La Mancha para producción de leche, Boer para carne y cruce entre mestizos y criollos
Semi-extensivo	Centros urbanos y zonas del trópico bajo-medio ubicadas en orilla de autopistas o en cercanías de los municipios que cuentan con atracción turística	Nivel tecnológico medio. Productos: Carne para autoconsumo y supermercados y pie de cría	Caprinos mestizos y cruzados con razas de reciente introducción.
Extensivo	Zonas de economía campesina y algunas comunidades indígenas, predominante en bosque tropical, seco y muy seco del trópico bajo y medio	Zonas agroecológicas: Trópico medio y bajo Nivel tecnológico: bajo Tamaño de las explotaciones: muy variable, sistemas de economía campesina (2-20 animales), hasta grandes poblaciones trashumantes (50-300 animales). Productos: Carne y pie de cría	Mestizos de razas de reciente introducción y biotipos criollos.

Tabla 4. Comparativo de sistemas de producción caprino

Fuente: Modificado (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

5.1.3. Estimación de emisiones de CO₂ eq en Santander para el año 2020

A partir del censo del 2020 se estimó el CH₄ producido durante el almacenamiento, tratamiento y depósito del estiércol en la pastura, mediante la **ecuación 2**. Cabe subrayar que el

factor de emisión promedio fue 0.17 puesto que la temperatura promedio es templada (21.06 °C) (ver **tabla 1**). Entonces, la producción de metano para el departamento fue 5.051.7 kg CH₄/año.

Siguiendo la metodología planteada se aplicó la **ecuación 4** y se obtuvo un rango de 0-10,077 kg CO₂ eq generado en los municipios y en el departamento 126.293 kg CO₂ eq para el año 2020. Cabe resaltar que los datos del censo y kg CO₂ eq por municipio se encuentran en el **ANEXO 1** (Ver **figura 13**).

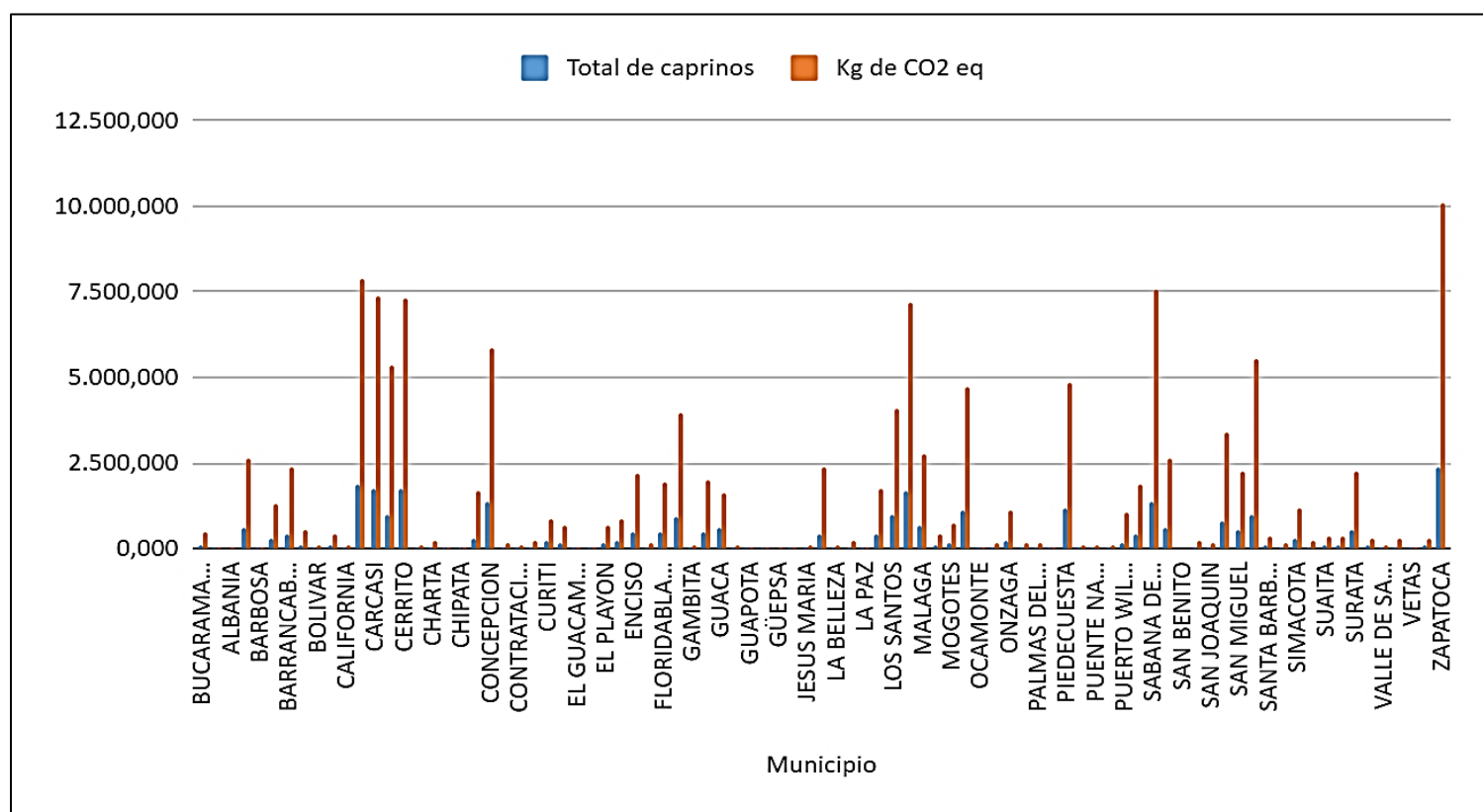


Figura 13. Equivalencia de emisiones de CO₂ para el ganado caprino en Santander

Fuente: La autora

Según el **Decreto 1076 de 2014**, en materia atmosférica toda descarga o emisión de contaminantes a la atmosfera solo podrá efectuarse dentro de los límites permisibles y en las condiciones señaladas por la ley y los reglamentos. (MinAmbiente, 2014). Sin embargo, no se han definido los valores de emisión permitidos para la gestión de estiércol. Cabe destacar que el

gobierno nacional estableció las directrices para “la gestión del cambio climático y mitigación de GEI con el objetivo de reducir la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas del país frente a los efectos de este y promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y un desarrollo bajo en carbono” mediante la **Ley 1931** con 3 años para reglamentar todas las disposiciones a partir de la fecha de su promulgación. (27 de julio del 2018). (Minambiente, 2018)

5.2. Identificación de las alternativas de mitigación de los gases efecto invernadero generados por la capricultura para el territorio santandereano.

5.2.1. Descripción de las alternativas biológicas para mitigar el CO₂ eq generado por los caprinos en el departamento

La información secundaria mencionada permitió la identificación de los tratamientos biológicos como medio de mitigación del metano emitido en la gestión de estiércol caprino en el departamento. En la **figura 14 y figura 15** se da a conocer la situación actual del territorio respecto a la tecnología anaerobia mediante el análisis de las condiciones externas e internas para potencializar los efectos negativos en su implementación. (Haug, 2021). Por el contrario, la **figura 16 y figura 17** sintetiza la tecnología aerobia con los factores diferenciadores y las estrategias de mejora para su implementación. (Ricardo A. Parra H, 2015)



Figura 14. Estrategias DOFA de la DA en Santander

Fuente: La autora

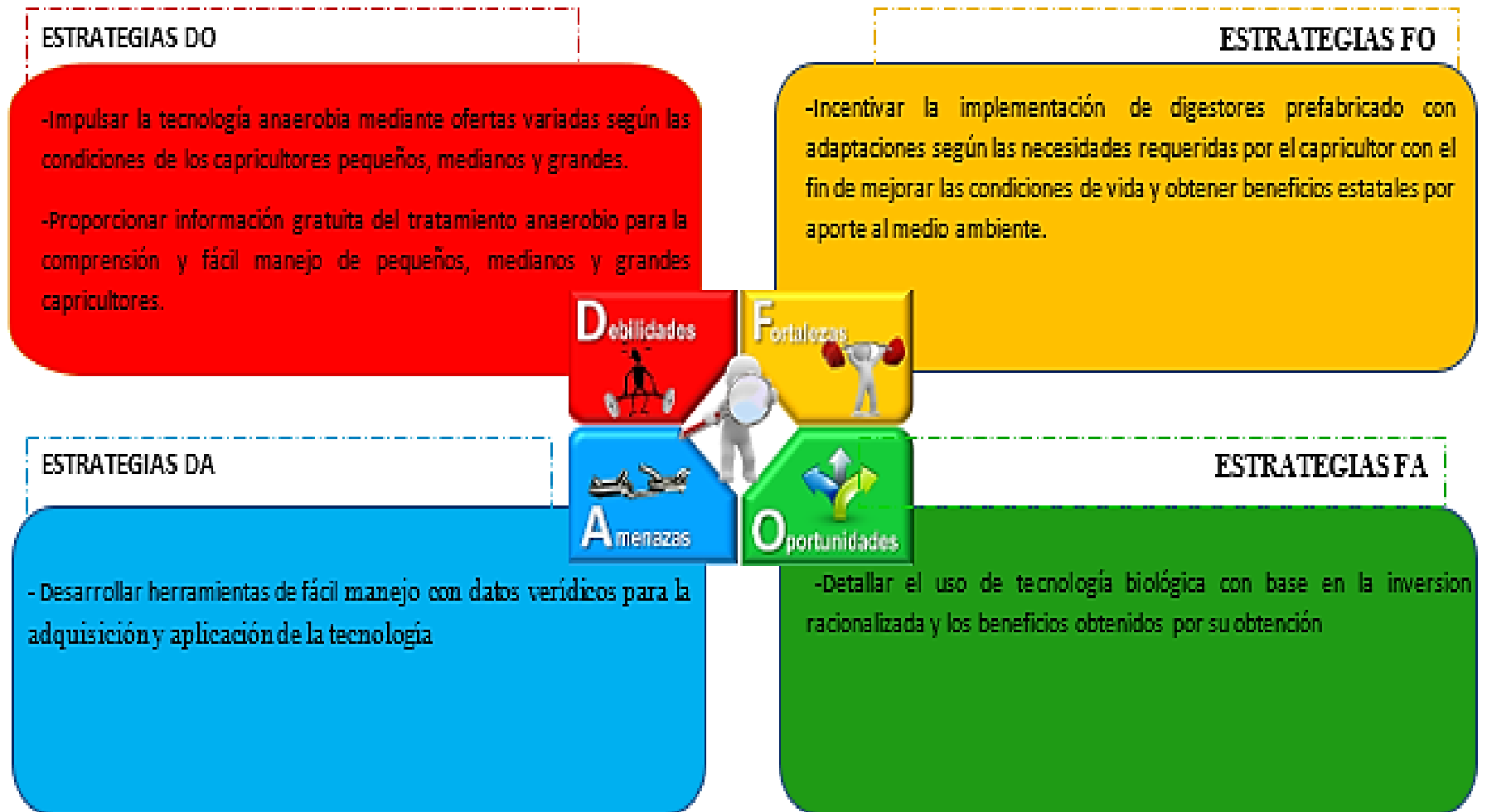


Figura 15. Matriz DOFA de la DA aplicada en Santander

Fuente: La autora



Figura 16.Matriz DOFA del compostaje en Santander

Fuente: La autora

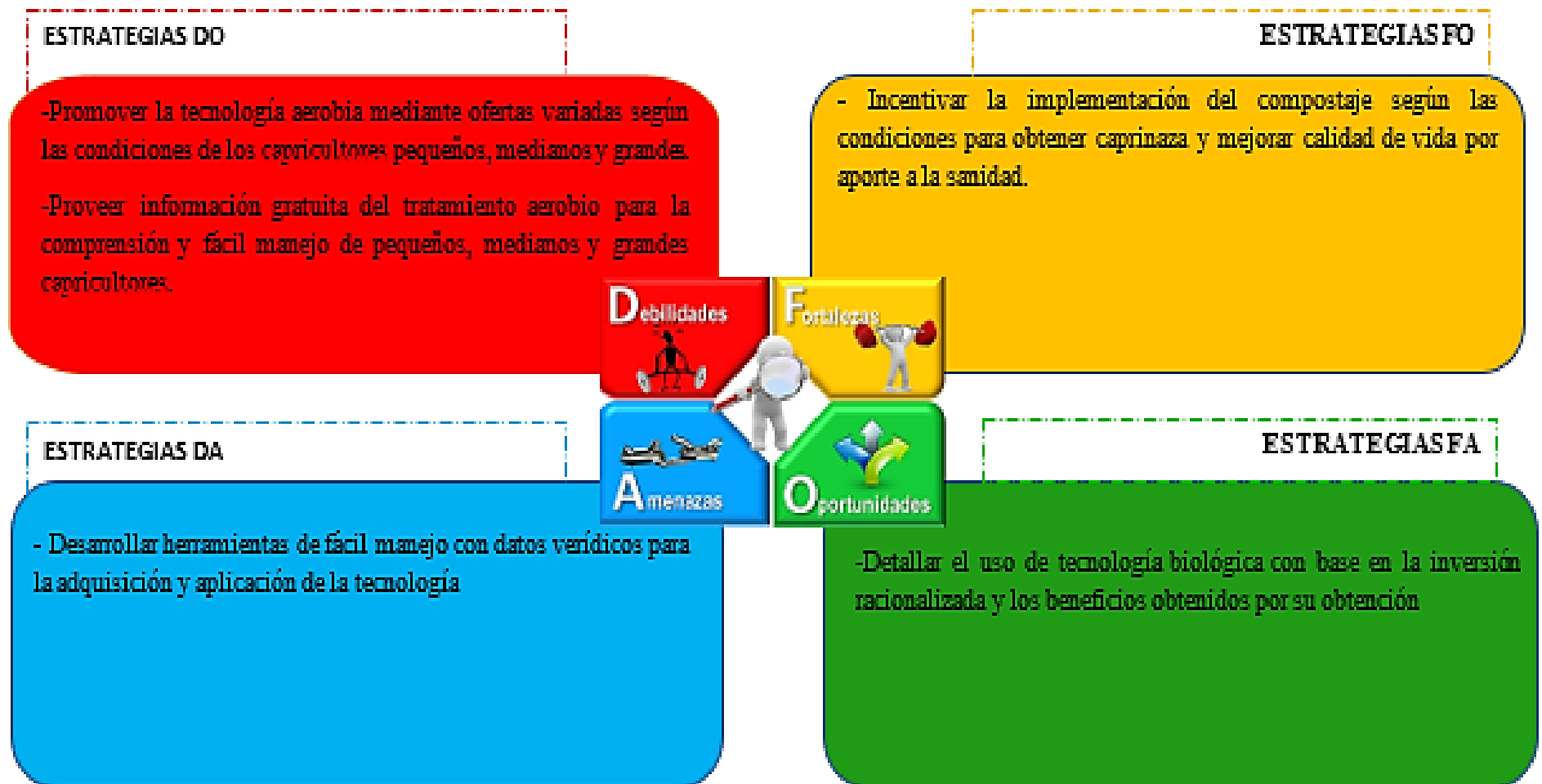


Figura 17.Estrategias DOFA del compostaje en Santander

Fuente: La autora

5.2.2. Priorización de las alternativas biológicas por aspecto sostenible

La sostenibilidad integra las dimensiones capaces de discriminar entre lo positivo y lo negativo para ajustar el proceso de desarrollo que garantice la sustentabilidad de los recursos para el futuro. Por tanto, se procede a la definición y calificación de los criterios, asignándoles un peso porcentual y un valor, la calificación del criterio es el producto de estos dos aspectos y la calificación total es la suma de las calificaciones parciales de los criterios, Matriz de Richman, tal como se presenta en la **Tabla 5**. (UNAL, 2018).

Indicador	Peso	Valor	Calificación
Indicador 1	Peso 1	Valor 1	$C1=(\text{peso } 1 * \text{Valor } 1)$
Indicador 2	Peso 2	Valor 2	$C2=(\text{peso } 2 * \text{Valor } 2)$
Indicador n	Peso n	Valor n	$Cn=(\text{peso } n * \text{valor } n)$
Total	$\sum P_n$		$Ct=\sum Ci$

Tabla 5. Matriz de Richman para Multicriterios

Fuente: Modificado de (UNAL, 2018)

De esta manera, en la **tabla 6** se presentan los criterios de priorización por aspecto técnico, ambiental, económico y social a fin de buscar la sostenibilidad de los tratamientos biológicos aerobio y anaerobio que se puedan originar para la generación de energía y biofertilizante con el estiércol caprino, así como la valoración y una breve explicación del concepto definido. (UNAL, 2018)

Criterio	Unidades (Unidimensional)	Importancia	Tipo	Explicación
Oferta anual de estiércol	Generación alta (3) >P75 Generación media (2) P25 < x < P75 Generación baja (1) < P25 Generación nula (0)	15%	Técnico-Social	De acuerdo con el Residuo en t/año se califica la oferta localizada de biomasa residual mediante percentiles.
Emisiones de CH₄	Reducción alta (2) Reducción baja (1)	20%	Ambiental	A partir de las t/año de metano generadas se valora la reducción por tecnología biológica analizada.
Agremiación disposición del proyecto	Si (1) No (0)	5%	Social	Actitud del gremio frente a actividades o acciones relacionadas. Es decir, interés de las asociaciones por el aprovechamiento de biomasa para la reducción de emisiones cuantificables

Impacto ambiental y sanitario	Manejable (2) Mediana dificultal (1) Difícil manejo (0)	20%	Ambiental	Intensidad de la problemática por mal manejo del residuo. Por tanto, se diferencia la aplicación de tratamientos biológicos por el control que se puede ejercer en el impacto
Implementación del sistema	Fácil manejo (3) Mediana dificultad (2) Difícil manejo (1)	20%	Técnico	Condiciones físicas y sanitarias para el manejo del sistema de tratamiento biológico.
Potencial de uso del sistema	Distribuidores colombianos (1) No hay distribuidores colombianos (0)	20%	Económico	Posibilidad de adquisición de los sistemas biológicos

Tabla 6. Criterios de priorización para evaluar los tratamientos biológicos aerobios y anaerobios**Fuente:** La autora

A continuación, se presenta la evaluación de criterios para establecer la calificación que sirve de base a la priorización.

Criterio de evaluación 1. Oferta anual de la biomasa residual caprina

A partir del censo del 2020, se calculó la producción de estiércol por municipio y a nivel departamental mediante el método matemático denominado factor unitario (ver **ecuación 1**). En la **figura 18** se evidencia la producción de estiércol en toneladas para el año 2020 a partir del censo de caprinos. Es importante aclarar que los datos por municipio y departamento se encuentran en el **ANEXO 2**. (ICA, 2020)

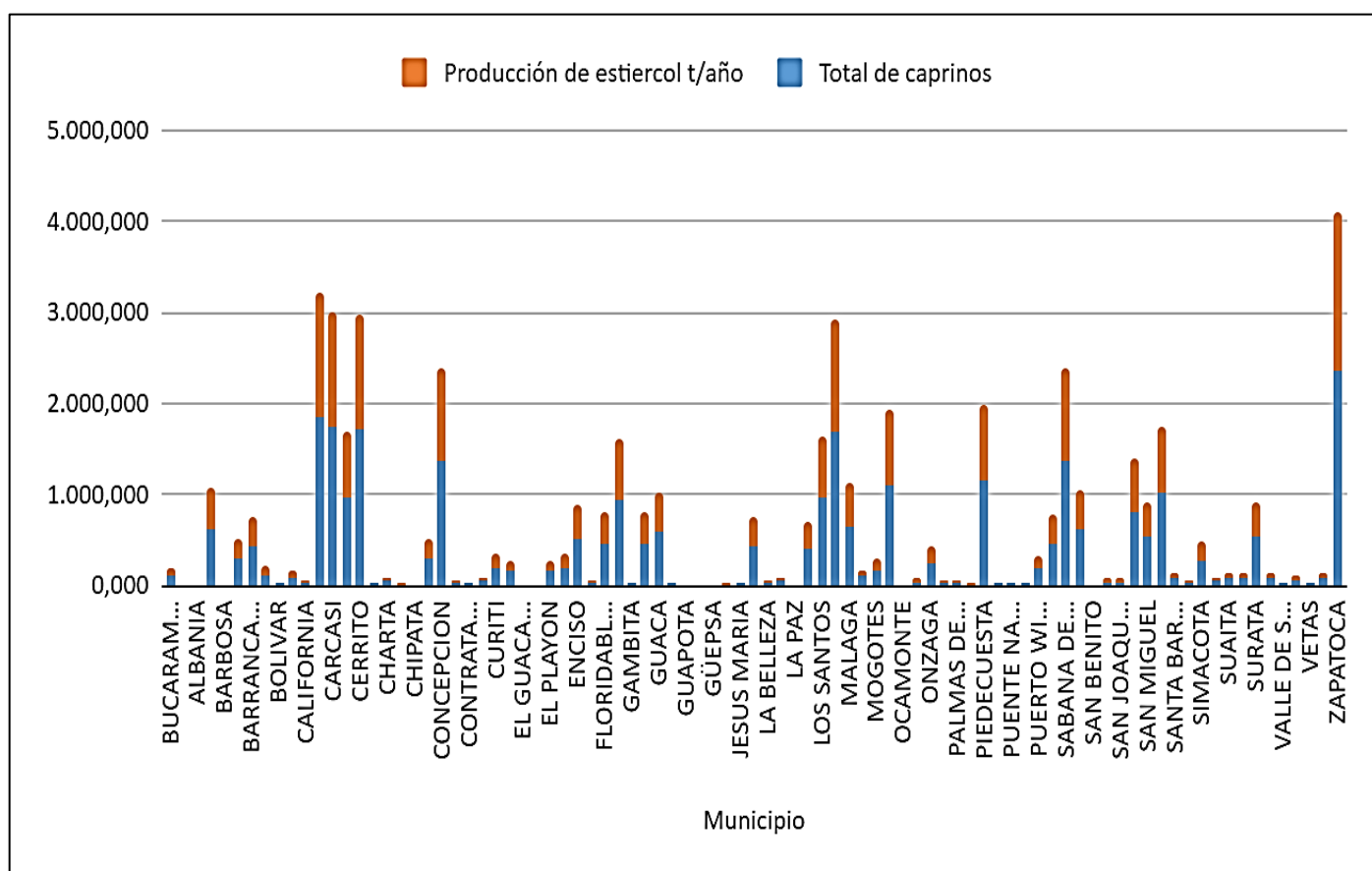


Figura 18. Toneladas de estiércol generadas por los caprinos en Santander**Fuente:** La autora

Con respecto a esto se determinó la producción total de estiércol en el departamento cuyo valor fue 21692.68 toneladas de estiércol para el año 2020. Además, se obtuvo un valor mínimo de 2.2 y un valor máximo de 1,730.8 toneladas/ año.

En Santander se dispone de suficiente biomasa residual caprina para ser tratada con el fin de reducir las emisiones de metano. Los municipios con mayor cantidad presentan una relación alta de producción. Es de resaltar que 2 municipios representan el 14.2% correspondiente a la generación máxima, 16 municipios equivalen al 58.3% a la producción media y 68 municipios son el 27.5% de generación mínima (Ver **tabla 7**).

Cantidad de municipios	Cantidad de caprinos	Producción de estiércol(t/año)	Valoración área
2	1.778 - 2.371	1359 - 1,731	(3)
16	593-1.777	434.4-1266	(2)
68	3-592	2.2-389.8	(1)
1	0	0	(0)

Tabla 7. Municipios con oferta de estiércol caprino en Santander**Fuente:** La autora

La cría de caprinos es una actividad que se considera ejercida en grandes extensiones de tierra por pequeños productores. En Colombia el 70,9% de los predios de las unidades de producción agropecuaria, censadas en el área rural dispersa son menores a las 5 ha y solo un 0,4% corresponde a mayores de 500 ha con un área mayor a 51 ha. La mano de obra en el sistema de

producción caprino es considerado familiar por no realizar algún tipo de contratación de personal. Es decir, es una forma de autoempleo para la unidad familiar. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016)

Criterio de evaluación 2. Disposición de la agremiación de capricultores respecto al proyecto

La Asociación de Capricultores de Santander (CAPRISAN) es el gremio creado hace más de 30 años de existencia y 15 años participando en la Feria de Bucaramanga. En los eventos dan a conocer las especies, mejoramiento de razas, su consumo cárnico, subproductos lácteos y la caprinaza producida mediante el compostaje desde la generación del estiércol. La recolección se facilita en los establos cuya producción es tecnificada en su mayoría, incluso en el sector rural agropecuario cuentan con máquinas y equipos. (ICA, 2020)

El estiércol generado en pastoreo no lo recogen contaminando el suelo por la infiltración y escorrentía, las cuales son imposibles de monitorear y controlar. La asociación cuenta con un plan de implementación de metas relacionadas con la producción más limpia de los productores y certificación de negocios verdes otorgada por la Corporación Autónoma de Santander (CAS) (Ver **ANEXO 3**). Sin embargo, el tema de cuantificación de emisiones de metano por gestión de estiercol no es un foco o priorización del sector. (ICA, 2020)

Dentro de las actividades de mejora en el desempeño ambiental en fase de ejecución para el 2021, se encuentran dispuestos los siguientes ítems de desarrollo para los asociados de CAPRISAN. (Ver **Tabla 8**) (ICA, 2020)

ITEMS	ACTIVIDADES	RESPONSABLE	ESTRATEGIA	PRODUCTO	FECHA	
					INICIO	FIN
Fortalecer e implementar los conocimientos del personal de las unidades productivas en temas producción más limpia (P+L)	Sensibilización y educación ambiental mediante capacitación inherente a producción más limpia en el sector ovino-caprino	Oficina GESA - CDMB *Carlos Bautista *Paola salcedo.	Mediante la presentación de videos, diapositivas, conversatorios, prácticas de campo y talleres de fijación de conocimientos.	Unidades productiva sensibilizada y capacitada en P+L sector caprino	11/06/2021	
Fortalecer e implementar los conocimientos ambientales para la minimización de emisiones	Capacitación en alternativas de energía renovable que permitan reducir las emisiones de CO ₂ eq. implementación de medidas de ahorro de energía	Oficina GESA - CDMB *Carlos Bautista *Paola salcedo	Mediante exposición individual y/o colectiva y aplicación práctica en cada unidad productiva	Unidad productiva capacitada	02/07/2021	

Tabla 8. Estrategias ambientales implementadas por CAPRISAN

Fuente: (CAPRISAN, 2021)

Asimismo, presentan indicadores para la evaluación de alternativas de energía renovable que permita reducir las emisiones de CO₂ tales como sustitución de combustibles, uso de biomasa, energía solar u otra. El indicador es: Litros o galones de combustible/ por mantenimiento de praderas y corte de alimento día en la unidad productiva. (CAPRISAN, 2021).

CAPRISAN demostró interés en el proyecto desarrollado para aportar con las metas de mitigación de GEI del sector en Santander. Por tanto, se dispone el estudio para mejorar las

estrategias proporcionando las hojas de cálculo y mapa interactivo como herramienta de concientización e impulso de alternativas sostenibles como el compostaje y digestión anaerobia. (Ver **ANEXO 4**) (Martínez, 2021)

Cabe resaltar que la herramienta de información geográfica y mapeo web interactiva da a conocer valores estimados de mitigación de CO₂ eq generado mediante el tratamiento del estiércol caprino en el círculo delimitado de Santander. Los datos se muestran al seleccionar los puntos de colores agregados al mapa, los cuales se identifican en una ventana emergente con color por cada municipio. En la parte inferior izquierda de la pantalla se ubica la caja de búsqueda con un control de zoom y la descripción de los componentes del mapa para mejorar la experiencia del usuario. En la parte izquierda se evidencia la leyenda con un selector de capas dispuesto para el análisis visual de un público en general. Por último, en la parte derecha se da a conocer las conclusiones del estudio realizado y complementos dinámicos gráficos de la mitigación estimada por cada tecnología biológica estratégica analizada (Ver **ANEXO 4**). (Martínez, 2021)

Por otro lado, se encuentran las asociaciones regionales de carácter gremial (Asociación de Caprinocultores de Piedecuesta ASOCAPRIP, Asociación de Caprinocultores de Molagavita ASOCAPRIMOL, Asociación de Caprinocultores de Capitanejo-Santander ASOCAPRICA). Sin embargo, la participación asociativa de los productores es baja debido a la debilidad normativa para la constitución y formalización de asociaciones; descoordinación interinstitucional en la oferta pública; obstáculos en la promoción de acciones para la vida en comunidad; debilidad en la oferta y acceso a servicios para la formación de capital humano y limitaciones en el acceso a instrumentos financieros. (Universidad Autónoma de Chiapas, 2016).

Asimismo, la comunicación se ve interferida por la falta de información actualizada de contacto y acciones ambientales relacionadas con la mitigación de las emisiones de GEI de las asociaciones a excepción de CAPRISAN. (Ver **tabla 9**) (CAPRISAN, 2021).

Asociaciones	Valoración
CAPRISAN	(1)
ASOCAPRIP	(0)
ASOCAPRIMOL	(0)
ASOCAPRICA	(0)

Tabla 9. Valoración de las agremiaciones

Fuente: La autora

Criterio de evaluación 3. Impacto ambiental y sanitario

La gestión de vertimientos con alta carga orgánica producto del lavado de establos y los olores ofensivos se convierten en incumplimiento normativo que genera problemas al sector. Asimismo, se evidencian impactos frecuentes como la proliferación de plagas, pérdida del valor del suelo, afectación paisajística, entre otros por la descomposición. (MinAmbiente, 2014). Por tanto, el manejo del estiércol promueve la utilización de la digestión anaerobia y el compostaje en sistema cerrado aerobio. (UNAL, 2014). Además, los requerimientos de energía para los establos tecnificados dan prioridad a la tecnología anaerobia puesto que genera energía eléctrica, térmica y combustible. (UNAL, 2018)(Ver **tabla 10**)

Impacto ambiental y sanitario	Valoración Digestión	Valoración Compostaje	Valoración Compostaje
	Anaerobia	Sistema Abierto	Sistema cerrado
Contaminación atmosférica por olores ofensivos	(2)	(1)	(1)
Afectación paisajística	(2)	(0)	(1)
Alteración de cauces por vertimientos con alta carga orgánica	(2)	(0)	(0)
Pérdida de valor del suelo por estiércol sin tratamiento previo	(2)	(2)	(2)
Proliferación de plagas causantes de transmisión de enfermedades	(2)	(0)	(1)
Total	10	3	5

Tabla 10. Impactos ambientales y sanitarios valorados por tratamiento biológico aerobio y anaerobio

Fuente: La autora

Es importante resaltar que los sistemas de compostaje se toman de manera generalizada debido a que presentan un alcance similar.

Criterio de evaluación 4. Implementación del sistema

El compostaje en sistemas abiertos por bajos costos de implementación resulta ser una excelente opción para el tratamiento de una cantidad abundante y variada de biomasa residual. En función del manejo de las pilas en planta (espacio, tecnificación, tiempo de retención), existe una

amplia variedad de formación de pilas, variando así el volumen de estas, su forma, la disposición y el espacio entre ellas. (UNAL, 2014).

Es necesario garantizar la aireación de la mezcla (microorganismo con el residuo) realizando volteos, lo ideal es realizarlos una vez al día, pero si no se cuenta, con el tiempo se deben voltear por lo menos dos veces a la semana, moviendo las pilas de un lugar a otro, mezclando y des compactando su contenido. En el caso de composteras de tambor giratorio, se debe mover la palanca hasta garantizar el giro completo del tambor varias veces. El giro y el sistema de aspas internas rompen agregados y des compactan el material y el sistema de orificios laterales permiten la entrada de aire al sistema. (UNAL, 2014).

En cambio, el sistema cerrado es adecuado para áreas pequeñas, sin embargo. existen numerosos materiales disponibles para usar como recipientes de compost, aunque predominan dos modalidades básicas de disposición del recipiente: vertical (o continuo/estático) y horizontal (o discontinuo/dinámico). (UNAL, 2014).

En la disposición vertical el recipiente descansa sobre su base. El material fresco se añade por la parte superior y el material compostado se extrae en la parte inferior. Se le llama continuo porque el material fresco entra de forma continua y el producto compostado sale también permanentemente por la parte inferior si el recipiente está diseñado para que haya que voltearlo para extraer el material, entonces es una compostera discontinua, por cargas. (UNAL, 2014). La disposición horizontal es aquella en la que el recipiente descansa sobre su eje longitudinal. Se le llama discontinuo porque es un proceso por cargas: una vez que se carga la compostera, se debe dejar que el proceso de compostaje finalice para extraer el material antes de introducir una nueva carga. En la **tabla 11** se evidencia el comparativo de los sistemas cerrados en cuanto a las características físicas. (UNAL, 2014).

TIPO DE COMPOSTADOR	HUMEDAD	COMPACTACIÓN	VOLTEO	CALIDAD
DISCONTINUO	Fácil control	No se compacta	Sencillo	Mayor
CONTINUO	Difícil control	Se compacta	Complejo	Menor

Tabla 11. Diferencias de los sistemas cerrados horizontal y vertical

Fuente: (UNAL, 2014)

Los digestores anaerobios pueden ser implementados con cantidades pequeñas y grandes. Sin embargo, los costos exceden en cuanto al manejo y control. Al ser una tecnología muy variada, incluye desde construcciones caseras con diversos materiales, hasta plantas con tecnología de punta completamente automatizadas. (FAO, 2019)

Los digestores anaerobios contienen una cámara de carga y nivelación para agua residual, un dispositivo para captar, almacenar biogás, cámara a presión hidrostática y postratamiento a la salida del reactor. El diseño modular con materiales resistentes a los rayos UV para una larga vida útil (>35 años) permite la interconectividad del biodigestor con el fin de aumentar su capacidad de tratamiento. (FAO, 2019)

Independientemente de estas características, en todas las tecnologías de biodigestores hay aproximadamente entre un 20% y un 50% de volumen libre para el biogás. (FAO, 2019)

Por tanto, en la **tabla 12** se le asigna un peso a cada tecnología biológica mencionada acerca de la dificultad de uso. (FAO, 2019)

Tecnología Biológica	Valoración
Compostaje en Tambor	(1)
Compostaje en pila estática	(1)
Compostaje pasivo en filas	(1)

Compostaje intensivo en filas	(1)
Digestión anaerobia	(2)

Tabla 12. Valoración del manejo de la tecnología biológica aerobia y anaerobia

Fuente: La autora

Criterio de evaluación 5. Potencial de uso del sistema

En Colombia las empresas que ofrecen biodigestores se encuentran situadas en Medellín y Chía. Rotoplast, es una empresa colombiana que se fundó en los 80s, cuenta con un sistema para la gestión de calidad y está certificado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas Colombia (ICONTEC) en la norma ISO 9001 versión 2008. Sus biodigestores se caracterizan por ser tanques de Polietileno herméticamente cerrado, cuenta con dos presentaciones horizontal y vertical dependiendo la necesidad del consumidor. (Universidad de la Salle, 2017)

Geo-Soluciones es una empresa que brinda productos innovadores de ingeniería con materiales geo sintéticos, los biodigestores que ellos ofrecen se caracterizan por ser de PVC, este material hace que mejore el desempeño del producto instalado en terreno natural y resiste a altas temperaturas. En la **tabla 13** se observa las ventajas y el alcance de cada empresa. (Universidad de la Salle, 2017)

Empresa	Ventajas	Alcance
Rotoplast	Calidad Precios Largo tiempo en el mercado	Colombia, Ecuador, Perú, México, Honduras y Costa Rica
Geosoluciones	Productos con mayor tecnología Servicio al cliente	Colombia

Tabla 13. Distribuidoras de biodigestores en el país

Fuente: Modificado de (Universidad de la Salle, 2017)

El potencial de uso del compostaje es alto debido a la existencia de sistemas en Santander para producción de caprinaza. Por el contrario, la Digestión anaerobia al ser un sistema con mayor complejidad en la producción y purificación de biofertilizantes y biogas no se encuentra en la zona de estudio. Sin embargo, en el mercado se encuentran tres tamaños de reactores dependiendo la necesidad del cliente para aumentar el uso del sistema y así reducir la compra de fertilizantes, combustibles, infecciones por mala manipulación del residuo, minimizar las emisiones y la acumulación de residuos que contaminan los recursos naturales. (Universidad de la Salle, 2017)

Cabe resaltar que el compostaje en sus distintos tipos no presenta un sistema prefabricado en Colombia, por tanto, su implementación requiere de adquisición de partes en ferreterías cercanas a la zona interesada. (Ver **tabla 14**).

Tecnología Biológica	Valoración
Compostaje en Tambor	(1)
Compostaje en pila estática	(1)
Compostaje pasivo en filas	(1)
Compostaje intensivo en filas	(1)
Digestión anaerobia	(1)

Tabla 14. Valoración del potencial de uso de la tecnología biológica aerobia y anaerobia

Fuente: La autora

Criterio de evaluación 5. Emisiones de metano

De acuerdo con lo descrito, se concluyó que la aplicación de la Digestión Anaerobia tiene mayor reducción de gas metano que el compostaje. Por tanto, se procedió a la valoración de cada tecnología bajo estudio (Ver **tabla 15**)

Tecnología Biológica	Valoración
Compostaje en Tambor	(1)
Compostaje en pila estática	(1)
Compostaje pasivo en filas	(1)
Compostaje intensivo en filas	(1)
Digestión anaerobia	(2)

Tabla 15. Valoración del potencial de reducción de emisiones de metano por tecnología biológica aerobia y anaerobia

Fuente: La autora

Tecnologías evaluadas por los criterios de priorización

Teniendo en cuenta los criterios valorados se prosigue con la priorización sostenible de los tratamientos biológicos para la implementación en campo. Para ello se multiplica el porcentaje de importancia con calificación dada y se suma cada valor obtenido. Los datos expuestos son adimensionales. (ver **tabla 16**).

Tecnología Biológica	Oferta anual de biomasa	Emisión de metano	Agremiación	Impactos ambientales y sanitarios	Implementación del sistema	Potencial de uso del sistema	Total
Compostaje en Tambor	0.9	0.2	0.05	0.6	0.2	0.2	2.15
Compostaje en pila estática	0.9	0.2	0.05	0.6	0.2	0.2	2.15
Compostaje pasivo en filas	0.9	0.2	0.05	1	0.2	0.2	2.55
Compostaje intensivo en filas	0.9	0.2	0.05	1	0.2	0.2	2.55
Digestión anaerobia	0.9	0.4	0.05	2	0.4	0.2	3.95

Tabla 16. Tecnología aerobia y anaerobia evaluada con criterios de priorización

Fuente: La autora

Por lo anterior, la digestión anaerobia es una opción adaptable sostenible que representa una oportunidad para la mejora continua del sector caprino. Esto se debe a que la oferta es variable y según las condiciones del producto se puede adquirir el sistema. Sin embargo, la tecnología aerobia en sistema cerrado como sistema abierto representan una gran oportunidad para los capricultores que no requieren de energía alternativa. Sin embargo, el sistema cerrado es más eficiente para reducción de las emisiones tanto en tecnologías aerobias como anaerobias.

De manera general, no existe una tecnología mejor que otra por la variabilidad de requerimientos de la población.

5.3. Estimación del potencial de reducción de las emisiones de metano generadas por los caprinos con respecto a los tratamientos seleccionados para Santander.

5.3.1. Cálculos del potencial de reducción de emisiones de CO₂ eq por tecnología aerobia y anaerobia

De los kilogramos de metano emitidos por los caprinos en el departamento, se calculó el potencial de reducción de emisiones de cada tecnología estudiada mediante la **ecuación 3** y **ecuación 4**. Por tal razón en la **figura 19** se presenta el comportamiento del compostaje con sistema abierto y sistema cerrado por municipio. Los cálculos de emisiones reducidas de las tecnologías de estudio se encuentran en el **ANEXO 5** y **ANEXO 6**

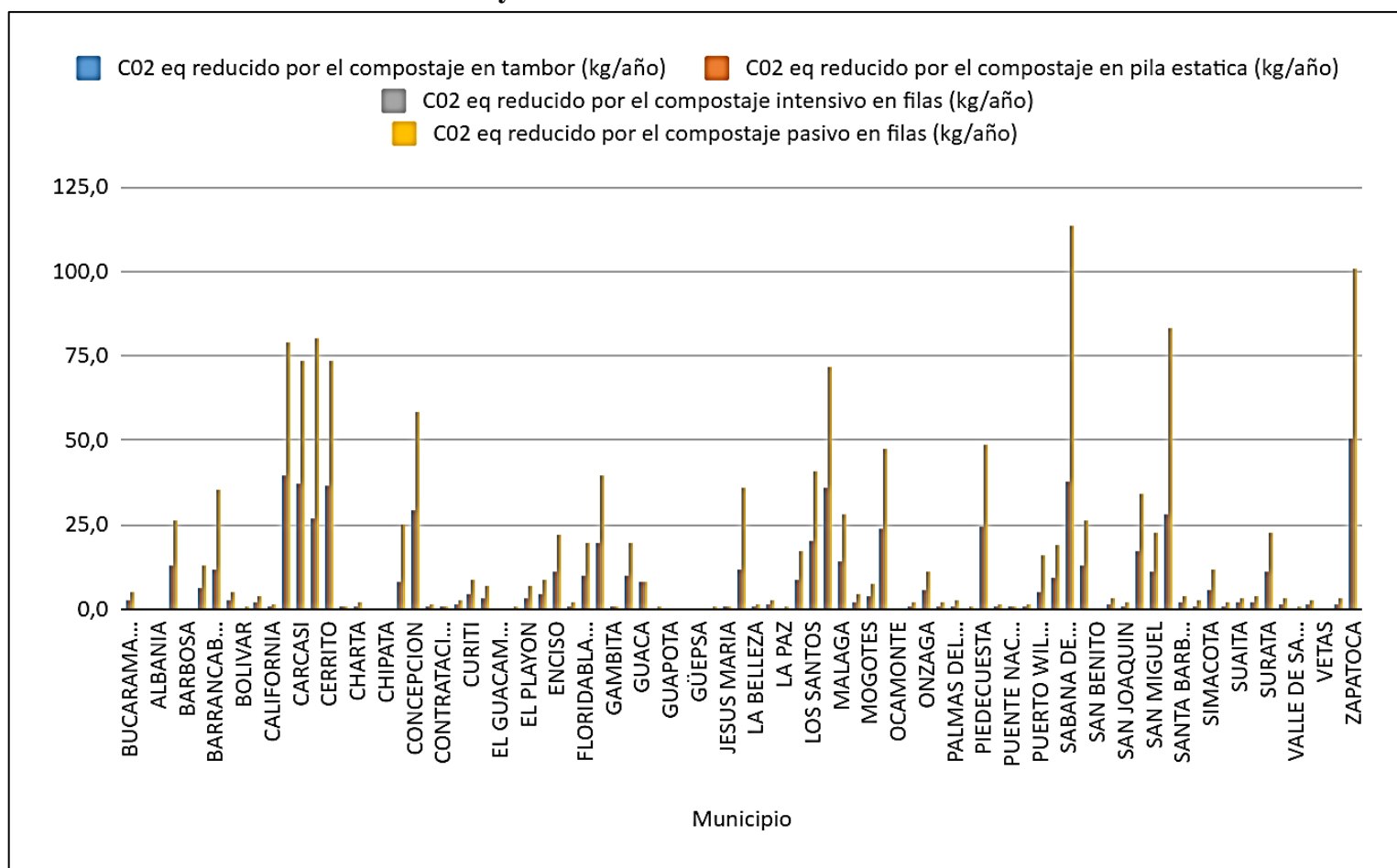


Figura 19. CO₂ eq reducido por el compostaje

Fuente; La autora

De esta manera, las tecnologías aerobias y anaerobias presentan un mayor rendimiento cuando su sistema es cerrado, ya que la Digestión Anaerobia tiene un 10% de reducción. Es decir que para el compostaje en tambor y pila estática se logró un rango de 0,06 kg CO₂ eq – 50,4 kg CO₂ eq, compostaje pasivo en filas e intensivo en filas resultó un rango de 0,13 kg CO₂ eq- 100,8 kgCO₂eq y para la DA se obtuvo un rango de 1,3kg CO₂ eq. – 1007,7 kg CO₂ eq reducidos.

Cabe resaltar que de los 126.293 kg de CO₂ eq emitidos por los caprinos en el departamento se obtuvo una reducción estimada de 631.5 kg de CO₂ eq para el compostaje en sistema abierto, 1.262,9 kg de CO₂ eq para el compostaje en sistema cerrado y 12.629,3 kg CO₂ eq en caso de que se hubiera implementado la digestión anaerobia en el año 2020.

5.3.2. Aplicación de la estimación de CO₂ eq en la hacienda caprina de Lebrija Santander.

En primera instancia, se obtuvo información de la hacienda capricultura con más producción, vinculada a CAPRISAN. La hacienda ubicada en Lebrija cuenta con 350 caprinos de los 405 que se encuentran en el municipio. (Ver ANEXO 7). De acuerdo con la cantidad de cabros se estima la producción de estiércol mediante la ecuación 3, así como se determina a continuación:(Ver figura 20)

$$P_{E\text{ Hacienda}} = 350 \text{ caprinos} * 2 \text{ kg/día} * \frac{1 \text{ ton}}{1000\text{kg}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}$$

$$P_{E\text{ Hacienda}} = 255.5 \text{ t/año}$$

$$P_{E\text{ Lebrija}} = 405 \text{ caprinos} * 2 \text{ kg/día} * \frac{1 \text{ ton}}{1000\text{kg}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}$$

$$P_{E\text{ Lebrija}} = 295.65 \text{ t/año}$$

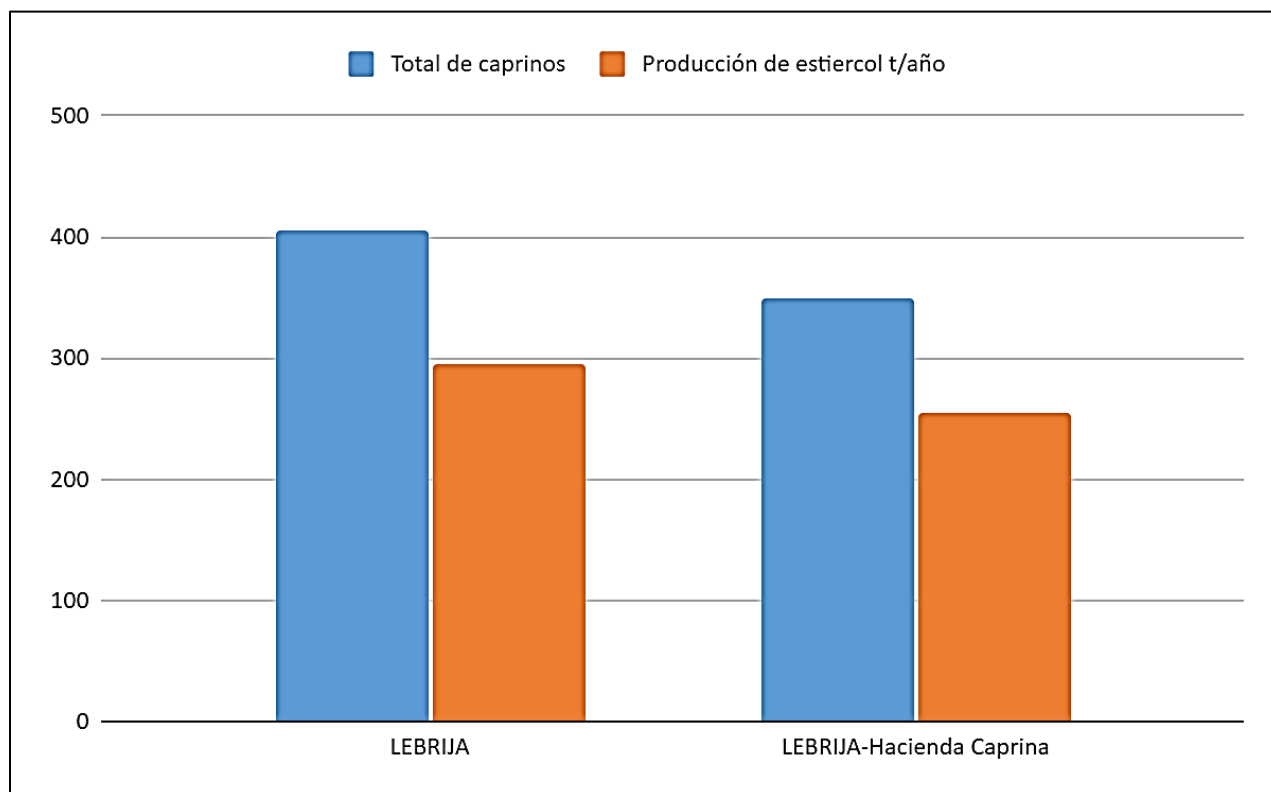


Figura 20. Producción de estiércol de la hacienda con más caprinos en Lebrija Santander

Fuente: La autora

A partir de la temperatura promedio de Lebrija (22 °C) se obtiene como factor de emisión de metano 0.17. Posteriormente se aplica la **ecuación 1** para hallar la generación de metano al año p. Es decir:

$$CH_{4EstiercolHacienda} = 350 \text{ caprinos} * 0.17$$

$$CH_{4EstiercolHacienda} = 59.50 \text{ kg/año}$$

$$CH_{4EstiercolLebrija} = 405 \text{ caprinos} * 0.17$$

$$CH_{4EstiercolLebrija} = 68.85 \text{ kg/año}$$

Por otro lado, se calcula la equivalencia de metano en dióxido de carbono para la hacienda caprícola por medio de la **ecuación 2**. Así como se evidencia a continuación:

$$CO_2 \text{ eq Hacienda} = 59.50 \text{ kg/año} * 25$$

$$CO_2 \text{ eq Hacienda} = 1488 \text{ kg/año}$$

$$CO_2 \text{ eq Lebrija} = 68.85 \text{ kg/año} * 25$$

$$CO_2 \text{ eq Lebrija} = 1721 \text{ kg/año}$$

En la **figura 21** se detalla la representatividad de la hacienda para el municipio por medio de la emisión calculada.

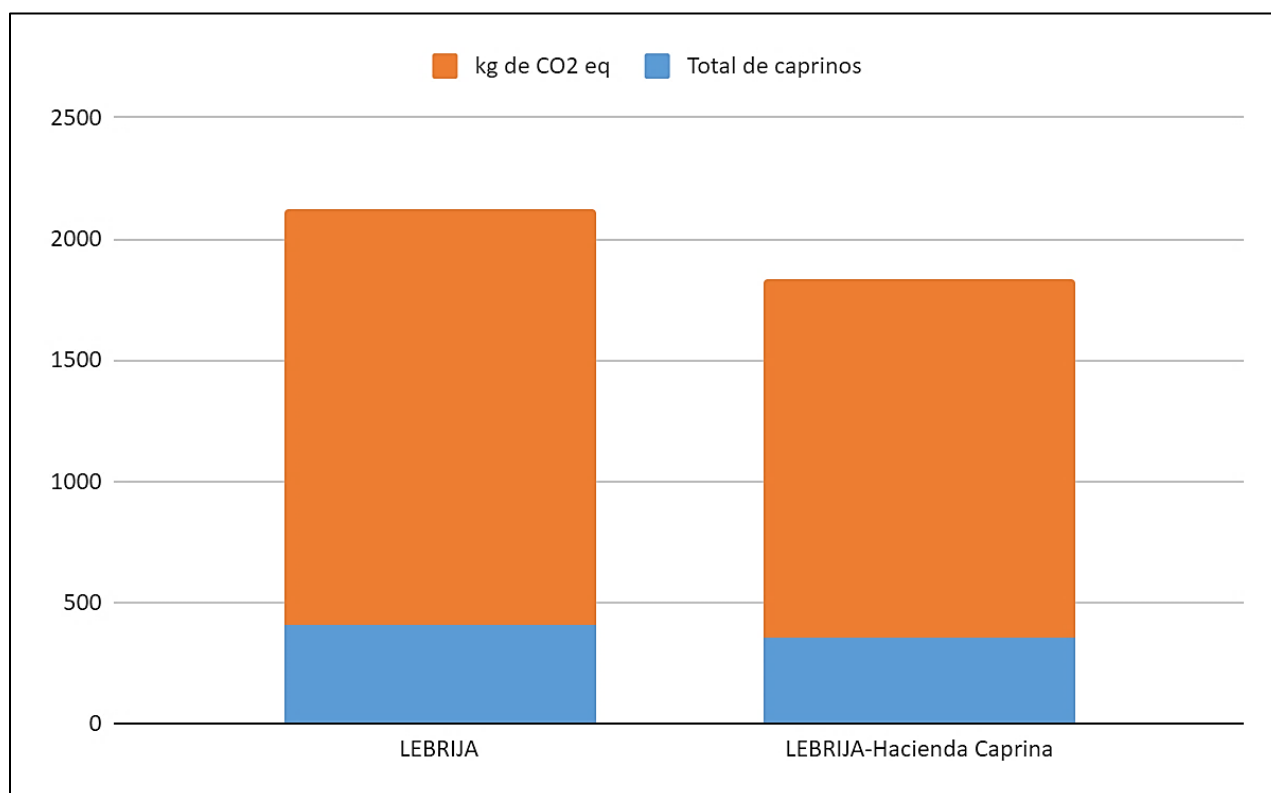


Figura 21. CO₂ equivalente emitido por la hacienda caprina de Lebrija Santander

Fuente: La autora

De esta forma, se estimó la reducción de metano por cada tipo de compostaje y la digestión anaerobia por medio de la **ecuación 4**. Es decir:

$$CH_4 \text{ reducido compostaje en tambor (Hacienda)} = 59.50 \text{ kg/año} * 0.005$$

$$\mathbf{CH_4 \text{ reducido compostaje en tambor (Hacienda)} = 0.3 \text{ kg/año}}$$

$$CH_4 \text{ reducido compostaje en pila estatica (Hacienda)} = 59.50 \text{ kg/año} * 0.005$$

$$\mathbf{CH_4 \text{ reducido compostaje en pila estatica (Hacienda)} = 0.3 \text{ kg/año}}$$

$$CH_4 \text{ reducido compostaje intensivo en filas (Hacienda)} = 59.50 \text{ kg/año} * 0.01$$

$$\mathbf{CH_4 \text{ reducido compostaje intensivo en filas (Hacienda)} = 0.6 \text{ kg/año}}$$

$$CH_4 \text{ reducido compostaje pasivo en filas (Hacienda)} = 59.50 \text{ kg/año} * 0.01$$

$$\mathbf{CH_4 \text{ reducido compostaje pasivo en filas (Hacienda)} = 0.6 \text{ kg/año}}$$

$$CH_4 \text{ reducido digestión anaerobia (Hacienda)} = 59.50 \text{ kg/año} * 0.1$$

$$\mathbf{CH_4 \text{ reducido digestión anaerobia (Hacienda)} = 6 \text{ kg/año}}$$

$$CH_4 \text{ reducido compostaje en tambor (Lebrija)} = 68.85 \text{ kg/año} * 0.005$$

$$\mathbf{CH_4 \text{ reducido compostaje en tambor (Lebrija)} = 0.3 \text{ kg/año}}$$

$$CH_4 \text{ reducido compostaje en pila estatica (Lebrija)} = 68.85 \text{ kg/año} * 0.005$$

$$\mathbf{CH_4 \text{ reducido compostaje en pila estatica (Lebrija)} = 0.3 \text{ kg/año}}$$

$$CH_4 \text{ reducido compostaje intensivo en filas (Lebrija)} = 68.85 \text{ kg/año} * 0.01$$

$$\mathbf{CH_4 \text{ reducido compostaje intensivo en filas (Lebrija)} = 0.7 \text{ kg/año}}$$

$$CH_4 \text{ reducido compostaje pasivo en filas (Lebrija)} = 68.85 \frac{\text{kg}}{\text{año}} * 0.01$$

$$\mathbf{CH_4 \text{ reducido compostaje pasivo en filas (Lebrija)} = 0.7 \text{ kg/año}}$$

$$CH_4 \text{ reducido digestión anaerobia (Lebrija)} = 68.85 \text{ kg/año} * 0.1$$

$$\mathbf{CH_4 \text{ reducido digestión anaerobia (Lebrija)} = 7 \text{ kg/año}}$$

Por tanto, se halla la equivalencia en CO₂ del metano generado en la hacienda de Lebrija y en el municipio aplicando la **ecuación 2**.

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje en tambor(Hacienda)} = 0.3Kg/año * 25$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje en tambor(Hacienda)} = 7 \text{ kg/año}$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje en pila estatica(Hacienda)} = 0.3kg/año * 25$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje en pila estatica (Hacienda)} = 7 \text{ kg/año}$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje intensivo en filas (Hacienda)} = 0.6kg/año * 25$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje intensivo en filas (Hacienda)} = 15 \text{ kg/año}$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje pasivo en filas (Hacienda)} = 0.6kg/año * 25$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje pasivo en filas(Hacienda)} = 15 \text{ kg/año}$$

$$CO_2 \text{ eq reducido digestión anaerobia(Hacienda)} = 6 \text{ kg/año} * 25$$

$$CO_2 \text{ eq reducido digestion anaerobia(Lebrija)} = 149 \text{ kg/año}$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje en tambor(Lebrija)} = 0.3 \text{ kg/año} * 25$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje en tambor(Lebrija)} = 9 \text{ kg/año}$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje en pila estatica(Lebrija)} = 0.3 \text{ kg/año} * 25$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje en pila estatica (Lebrija)} = 9 \text{ kg/año}$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje intensivo en filas (Lebrija)} = 0.7 \text{ kg/año} * 25$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje intensivo en filas (Lebrija)} = 17 \text{ kg/año}$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje pasivo en filas (Lebrija)} = 0.7 \text{ kg/año} * 25$$

$$CO_2 \text{ eq reducido compostaje pasivo en filas(Lebrija)} = 17 \text{ kg/año}$$

$$CO_2 \text{ eq reducido digestión anaerobia(Lebrija)} = 7 \text{ kg/año} * 25$$

$$CO_2 \text{ eq reducido digestion anaerobia(Lebrija)} = 172 \text{ kg/año}$$

De acuerdo con lo anterior, en la **figura 22** se evidencian las reducciones obtenidas por cada tratamiento estudiado. Es importante aclarar que no existe una tecnología mejor que otra de manera generalizada debido a la variabilidad de requerimientos y condiciones de los solicitantes. Sin embargo, el sistema cerrado es más eficiente para la reducción de las emisiones tanto en tecnologías aerobias como anaerobias.

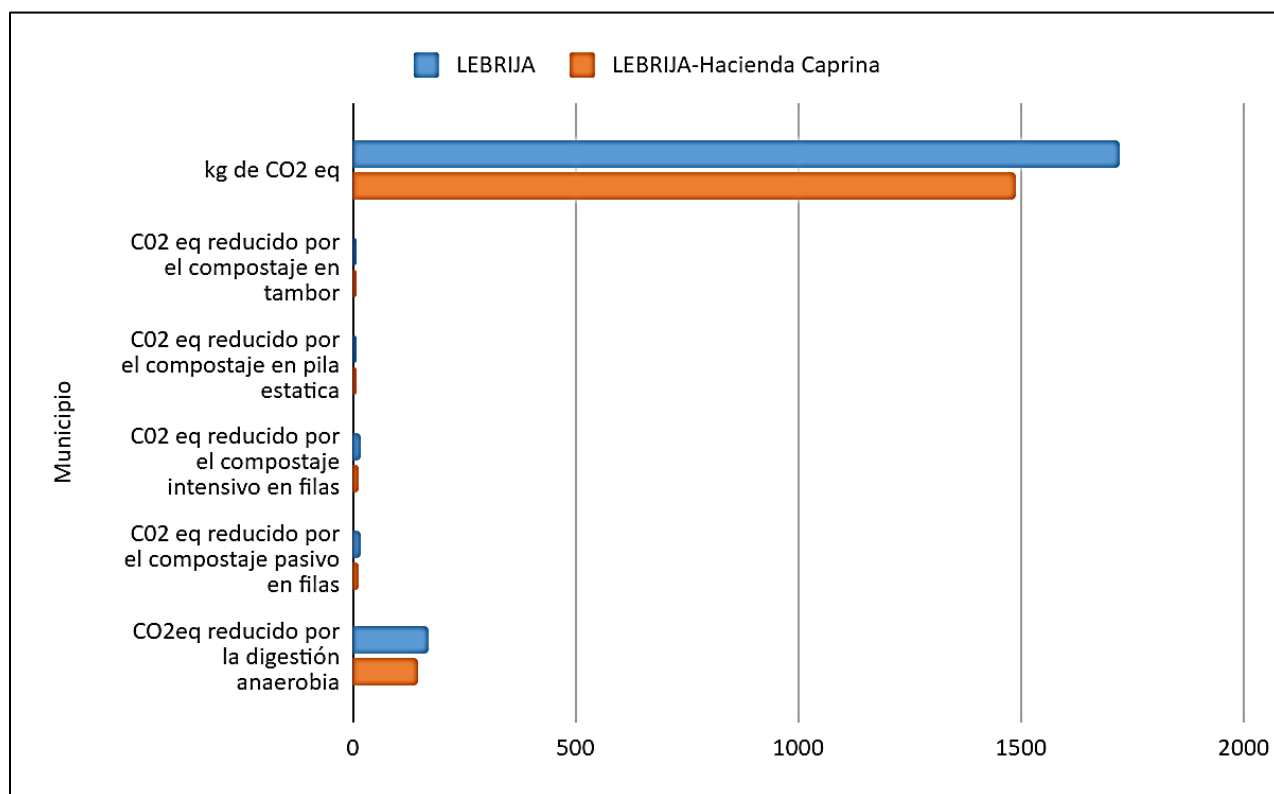


Figura 22. CO₂ equivalente reducido por tratamiento aerobia y anaerobia para la hacienda caprina de Lebrija Santander

Fuente: La autora

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se comprueba mediante el estudio de caso los cálculos aplicados siendo la Digestión Anaerobia la tecnología priorizada para la mitigación de

CO₂ eq emitido por la gestión de estiércol. Asimismo, los valores incentivan la adopción de la DA como medio de mitigación de las emisiones tanto para capricultores.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las emisiones de Gases Efecto Invernadero asociadas con la ganadería caprina en Santander para el año 2020 llegaron a 126.293 kg CO_{2eq} que corresponden a 29.716 caprinos. Zapatoca presenta la mayor cantidad emitida con 10.077 kg CO_{2eq} por los 2.371 caprinos y Albania con un valor estimado de 13 kg CO_{2eq} es el municipio con menor cantidad emitida.
- Las alternativas identificadas como estrategias de mitigación de los Gases Efecto Invernadero generados por la capricultura para el territorio Santandereano fueron el Compostaje y la Digestión Anaerobia por su escalabilidad y aplicación asequible, replicable y sostenible.
- La Digestión Anaerobia mitiga el 10% de las emisiones de CO_{2eq} a comparación del sistema abierto el 0.5% y cerrado el 1% del compostaje o sistema aerobio
- En el estudio se tomaron valores teóricos para la estimación de generación y reducción de metano determinados por la IPCC. Sin embargo, se recomienda la evaluación real por tecnología adquirida.
- Se recomienda la utilización de las herramientas desarrollados para el cumplimiento de las metas de concientización y participación de los productores en la mitigación y potencialización de impactos para el desarrollo sostenible de la capricultura en Santander.
- Se recomienda la implementación de proyectos relacionados con el tratamiento y valorización del estiércol para la mejora continua del sector.

7. REFERENCIAS

- Agugliaro, F. M. (2007). *Gasificación de residuos de invernadero para la obtención de energía eléctrica en el sur de España: ubicación mediante SIG*. Caracas:
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000200012.
- Betancourt. (2018). *Analisis FODA*. <https://www.ingenioempresa.com/matriz-foda/>.
- CAPRISAN. (2021). *Capacitaciones implementadas por CAPRISAN*.
asociacion.caprisan@gmail.com.
- Diana Bustos. (2013). *PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS*.
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7139/BustosRamirezDianaMarela2013.pdf?sequence=1>.
- ECOPETROL. (2018). *Biocombustibles*. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/medio-ambiente/gestion-ambiental-proactiva/eficiencia/biocombustibles/biocombustibles-informacion>.
- FAO. (2011). *Manual de biogas*. Santiago de Chile: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>.
- FAO. (2019). *Guía Teórica-Práctica sobre el biogas y los biodigestores*.
<http://www.fao.org/3/ca5082es/ca5082es.pdf>.
- Haug, R. T. (2021). *The practical handbook of compost engineering*.
<https://es.scribd.com/document/479111834/Haug-1993-pdf>.

ICA. (2017). *Programa Nacional de Ovinos/Caprinos*.

<https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/enfermedades-animales/especie-ovino-caprina.aspx>.

ICA. (2020). *Censo Nacional Caprinos*. Bogotá:

<https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx>.

IDEAM. (2018). *Segundo reporte bienal de actualización de Colombia ante la Convención*

Marco de las Naciones Unidas para el cambio climático (CMNUCC).

http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023848/PNUD-IDEAM_2rba.pdf.

IPCC. (2006). Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. [https://www.ipcc-](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf)

[nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf).

IPCC. (2018). *Informe aceptado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio*

Climático. EE.UU : <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-ts-sp.pdf>.

Liseth, M. M. (2021). *Emisiones de la capricultura de Santander para el año 2020*. Boyacá:

<https://n9.cl/j60x>.

LR. (2014). *Cría de cabras, rentable sin tener que asumir altos costos*.

<https://www.larepublica.co/archivo/cria-de-cabras-rentable-sin-tener-que-asumir-altos-costos-2177926>.

MinAmbiente. (2014). *Decreto 1076 de 2015 sector ambiente y desarrollo sostenible*. Bogotá:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>.

Minambiente. (2018). *Ley 1931*. Bogotá:

<https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/leyes/5f-ley%201931%20de%202018.pdf>.

MinAmbiente. (2021). *Gases Efecto Invernadero*.

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/462-plantilla-cambio-climatico-18>.

Ricardo A. Parra H. (2015). *Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria*.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000200014.

UCC. (2019). *Gestión Técnico y económica de la capricultura en la provincia de García Rovira de Santander*. Bucaramanga:

https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/10894/1/2019_gestion_tecnica_economica.pdf.

UNAL. (2014). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*. Bogotá:

https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf.

UNAL. (2018). *ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE CONVERSIÓN A BIOGÁS DE LA BIOMASA EN COLOMBIA Y SU APROVECHAMIENTO*.

<https://bdigital.upme.gov.co/jspui/bitstream/001/1317/1/Informe%20final.pdf>.

Universidad Autónoma de Chiapas. (2016). *Sistema de producción caprina en la cuenca del río Chicamocha (Santander, Colombia)*. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México:

https://www.researchgate.net/publication/304557313_Los_sistemas_de_produccion_caprina_en_el_municipio_de_Molagavita_Santander_sobre_la_cuenca_del_rio_Chicamocha.

Universidad de la Salle. (2017). *Fabricación y comercialización de biodigestores para agrícola Befco*. Bogotá:

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1102&context=finanzas_comercio.

UPME. (2014). *Invierta y gane con energía*.

https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf.

UPME-UNAL. (2018). *ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE CONVERSIÓN A BIOGÁS DE*.

Bogotá D.C:

<https://bdigital.upme.gov.co/jspui/bitstream/001/1317/1/Informe%20final.pdf>.

UROSARIO. (2020).

<https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/8681/HurtadoEscobar-PaulaAndrea-2014.pdf?sequence=9>.

8. ANEXOS

8.1. ANEXO 1. Producción de CO₂ eq de los caprinos en Santander

Tabla 17. Estimación de CO₂ eq de los caprinos por municipio y a nivel departamental para el
2020

Fuente: Modificado (ICA, 2020)

Municipio	%	Total de caprinos	Producción de estiércol t/año	°C	Factor de emisión CH4	Kg CH4/cabeza*año	Potencial de calentamiento	Kg de CO2 eq
BUCARAMANGA	0,37	111	81	23,5	0,17	19	25	472
AGUADA	0,02	5	4	19,0	0,17	1	25	21
ALBANIA	0,01	3	2	17,5	0,17	1	25	13
ARATOCA	2,09	620	453	18,5	0,17	105	25	2.635
BARBOSA	0,02	5	4	18,5	0,17	1	25	21
BARICHARA	1,02	302	220	21,0	0,17	51	25	1.284
BARRANCABERMEJA	1,45	430	314	27,5	0,22	95	25	2.365
BETULIA	0,41	121	88	18,0	0,17	21	25	514
BOLIVAR	0,07	20	15	15,5	0,17	3	25	85
CABRERA	0,32	95	69	22,5	0,17	16	25	404
CALIFORNIA	0,10	30	22	16,5	0,17	5	25	128

CAPITANEJO	6,26	1.861	1.359	19,0	0,17	316	25	7.909
CARCASI	5,84	1.734	1.266	17,0	0,17	295	25	7.370
CEPITA	3,28	974	711	26,5	0,22	214	25	5.357
CERRITO	5,80	1.725	1.259	24,5	0,17	293	25	7.331
CHARALA	0,07	22	16	20,5	0,17	4	25	94
CHARTA	0,15	46	34	16,0	0,17	8	25	196
CHIMA	0,03	10	7	22,0	0,17	2	25	43
CHIPATA	0,02	7	5	18,0	0,17	1	25	30
CIMITARRA	1,02	302	220	26,0	0,22	66	25	1.661
CONCEPCION	4,62	1.373	1.002	16,5	0,17	233	25	5.835
CONFINES	0,11	32	23	20,0	0,17	5	25	136
CONTRATACION	0,08	23	17	17,5	0,17	4	25	98
COROMORO	0,19	55	40	18,5	0,17	9	25	234
CURITI	0,66	196	143	19,5	0,17	33	25	833
EL CARMEN DE CHUCURI	0,53	158	115	20,0	0,17	27	25	672

EL GUACAMAYO	0,02	6	4	15,0	0,17	1	25	26
EL PEÑON	0,03	8	6	30,0	0,22	2	25	44
EL PLAYON	0,52	155	113	23,5	0,17	26	25	659
ENCINO	0,68	201	147	18,0	0,17	34	25	854
ENCISO	1,72	510	372	18,5	0,17	87	25	2.168
FLORIAN	0,13	39	28	18,0	0,17	7	25	166
FLORIDABLANCA	1,55	462	337	23,0	0,17	79	25	1.964
GALAN	3,14	934	682	23,0	0,17	159	25	3.970
GAMBITA	0,08	23	17	17,0	0,17	4	25	98
GIRON	1,57	466	340	24,0	0,17	79	25	1.981
GUACA	2,00	595	434	13,5	0,11	65	25	1.636
GUADALUPE	0,06	19	14	22,5	0,17	3	25	81
GUAPOTA	0,02	5	4	24,0	0,17	1	25	21
GUAVATA	0,03	8	6	20,0	0,17	1	25	34
GÜEPSA	0,01	4	3	19,5	0,17	1	25	17

HATO	0,05	14	10	21,0	0,17	2	25	60
JESUS MARIA	0,07	21	15	19,0	0,17	4	25	89
JORDAN	1,45	432	315	29,0	0,22	95	25	2.376
LA BELLEZA	0,09	27	20	15,0	0,17	5	25	115
LANDAZURI	0,19	55	40	22,5	0,17	9	25	234
LA PAZ	0,03	9	7	28,0	0,22	2	25	50
LEBRIJA	1,36	405	296	22,0	0,17	69	25	1.721
LOS SANTOS	3,21	954	696	22,0	0,17	162	25	4.055
MACARAVITA	5,68	1.687	1.232	18,0	0,17	287	25	7.170
MALAGA	2,20	654	477	15,0	0,17	111	25	2.780
MATANZA	0,33	98	72	21,0	0,17	17	25	417
MOGOTES	0,59	176	128	18,5	0,17	30	25	748
MOLAGAVITA	3,74	1.112	812	18,0	0,17	189	25	4.726
OCAMONTE	0,03	9	7	23,0	0,17	2	25	38
OIBA	0,14	42	31	19,0	0,17	7	25	179
ONZAGA	0,85	254	185	23,0	0,17	43	25	1.080

PALMAR	0,08	25	18	27,0	0,22	6	25	138
PALMAS DEL SOCORRO	0,11	33	24	26,0	0,22	7	25	182
PARAMO	0,05	14	10	25,0	0,17	2	25	60
PIEDRECUESTA	3,85	1.143	834	22,5	0,17	194	25	4.858
PINCHOTE	0,06	17	12	27,0	0,22	4	25	94
PUENTE NACIONAL	0,08	23	17	18,0	0,17	4	25	98
PUERTO PARRA	0,06	19	14	27,0	0,22	4	25	105
PUERTO WILCHES	0,64	190	139	26,5	0,22	42	25	1.045
RIONEGRO	1,50	445	325	17,5	0,17	76	25	1.891
SABANA DE TORRES	4,64	1.378	1.006	27,0	0,22	303	25	7.579
SAN ANDRES	2,06	612	447	22,0	0,17	104	25	2.601
SAN BENITO	0,00	0	0	24,0	0,17	0	25	0
SAN GIL	0,14	42	31	26,0	0,22	9	25	231
SAN JOAQUIN	0,14	41	30	19,0	0,17	7	25	174

SAN JOSE DE MIRANDA	2,71	804	587	20,0	0,17	137	25	3.417
SAN MIGUEL	1,77	527	385	22,0	0,17	90	25	2.240
SAN VICENTE DE CHUCURI	3,41	1.012	739	31,0	0,22	223	25	5.566
SANTA BARBARA	0,28	82	60	20,0	0,17	14	25	349
SANTA HELENA DEL OPON	0,10	31	23	26,0	0,22	7	25	171
SIMACOTA	0,92	273	199	22,0	0,17	46	25	1.160
SOCORRO	0,15	46	34	21,0	0,17	8	25	196
SUAITA	0,27	81	59	19,5	0,17	14	25	344
SUCRE	0,29	86	63	17,0	0,17	15	25	366
SURATA	1,80	534	390	23,0	0,17	91	25	2.270
TONA	0,25	74	54	22,0	0,17	13	25	315
VALLE DE SAN JOSE	0,06	17	12	24,0	0,17	3	25	72

VELEZ	0,21	61	45	15,5	0,17	10	25	259
VETAS	0,06	18	13	11,0	0,11	2	25	50
VILLANUEVA	0,25	73	53	23,0	0,17	12	25	310
ZAPATOCA	7,98	2.371	1.731	18,0	0,17	403	25	10.077
SANTANDER	100	29.716	21.693	21,1	0,17	5.052	25	126.293

8.2. ANEXO 2. Estimación de la estimación de estiércol en Santander

Municipio	Total de caprinos	Producción de estiércol t/año
BUCARAMANGA	111	81
AGUADA	5	4
ALBANIA	3	2
ARATOCA	620	453
BARBOSA	5	4
BARICHARA	302	220
BARRANCABERMEJA	430	314
BETULIA	121	88
BOLIVAR	20	15
CABRERA	95	69
CALIFORNIA	30	22
CAPITANEJO	1.861	1.359
CARCASI	1.734	1.266
CEPITA	974	711
CERRITO	1.725	1.259
CHARALA	22	16
CHARTA	46	34
CHIMA	10	7

CHIPATA	7	5
CIMITARRA	302	220
CONCEPCION	1.373	1.002
CONFINES	32	23
CONTRATACION	23	17
COROMORO	55	40
CURITI	196	143
EL CARMEN DE CHUCURI	158	115
EL GUACAMAYO	6	4
EL PEÑON	8	6
EL PLAYON	155	113
ENCINO	201	147
ENCISO	510	372
FLORIAN	39	28
FLORIDABLANCA	462	337
GALAN	934	682
GAMBITA	23	17
GIRON	466	340
GUACA	595	434
GUADALUPE	19	14
GUAPOTA	5	4
GUAVATA	8	6

GÜEPSA	4	3
HATO	14	10
JESUS MARIA	21	15
JORDAN	432	315
LA BELLEZA	27	20
LANDAZURI	55	40
LA PAZ	9	7
LEBRIJA	405	296
LOS SANTOS	954	696
MACARAVITA	1.687	1.232
MALAGA	654	477
MATANZA	98	72
MOGOTES	176	128
MOLAGAVITA	1.112	812
OCAMONTE	9	7
OIBA	42	31
ONZAGA	254	185
PALMAR	25	18
PALMAS DEL SOCORRO	33	24
PARAMO	14	10
PIEDRECUESTA	1.143	834
PINCHOTE	17	12

PUENTE NACIONAL	23	17
PUERTO PARRA	19	14
PUERTO WILCHES	190	139
RIONEGRO	445	325
SABANA DE TORRES	1.378	1.006
SAN ANDRES	612	447
SAN BENITO	0	0
SAN GIL	42	31
SAN JOAQUIN	41	30
SAN JOSE DE MIRANDA	804	587
SAN MIGUEL	527	385
SAN VICENTE DE CHUCURI	1.012	739
SANTA BARBARA	82	60
SANTA HELENA DEL OPON	31	23
SIMACOTA	273	199
SOCORRO	46	34
SUAITA	81	59
SUCRE	86	63
SURATA	534	390
TONA	74	54
VALLE DE SAN JOSE	17	12

VELEZ	61	45
VETAS	18	13
VILLANUEVA	73	53
ZAPATOCA	2.371	1.731
SANTANDER	29.716	21.693

Tabla 18. Estimación de estiércol por municipio y a nivel departamental para el 2020

Fuente: Modificado (ICA, 2020)

8.3. ANEXO 3. Certificado de negocios verdes de CAPRISAN otorgado por la CAS



Figura 23. Certificado de negocios verdes de CAPRISAN otorgado por la CAS

Fuente: Modificado (ICA, 2020)

8.4. ANEXO 4. Mapa interactivo de las alternativas de mitigación de CO₂ eq emitido por la capricultura en Santander

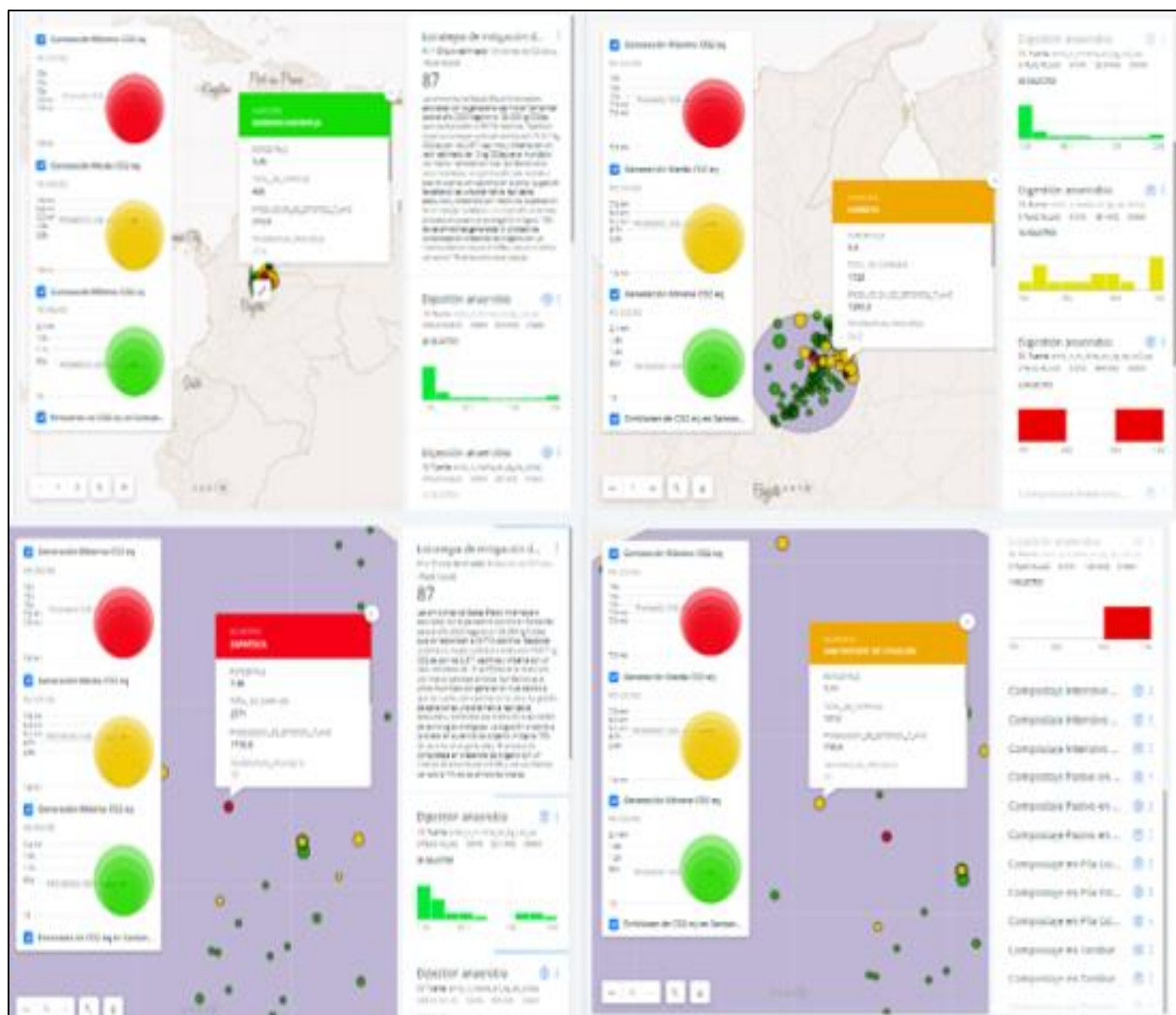


Figura 24. Herramienta interactiva desarrollada para el proyecto

Fuente: (Liseth, 2021)

8.5. ANEXO 5. Reducción de metano por tratamiento aerobio y anaerobio

Municipio	Kg de CO2 eq	Factor de reducción del compostaje en Pila Estatica	Factor de reducción del compostaje intensivo en filas	Factor de reducción del compostaje pasivo en filas	Factor de reducción de la Digestión anaerobia	CH4- En Tambo r (kg/año)	CH4- Pila Estatica (kg/año)	CH4- Intensivo en filas (kg/año)	CH4- Pasivo en Filas (kg/año)	CH4- DIGESTIÓN ANAEROBIA (kg/año)
BUCARAMANGA	472	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,2	0,2	1,9
AGUADA	21	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
ALBANIA	13	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
ARATOCA	2.635	0,01	0,01	0,01	0,10	0,5	0,5	1,1	1,1	10,5
BARBOSA	21	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
BARICHARA	1.284	0,01	0,01	0,01	0,10	0,3	0,3	0,5	0,5	5,1

BARRANCA	2.365	0,01	0,02	0,02	0,10	0,5	0,5	1,4	1,4	9,5
BERMEJA										
BETULIA	514	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,2	0,2	2,1
BOLIVAR	85	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
CABRERA	404	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,2	0,2	1,6
CALIFORNI	128	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,5
A										
CAPITANEJ	7.909	0,01	0,01	0,01	0,10	1,6	1,6	3,2	3,2	31,6
O										
CARCASI	7.370	0,01	0,01	0,01	0,10	1,5	1,5	2,9	2,9	29,5
CEPITA	5.357	0,01	0,02	0,02	0,10	1,1	1,1	3,2	3,2	21,4
CERRITO	7.331	0,01	0,01	0,01	0,10	1,5	1,5	2,9	2,9	29,3
CHARALA	94	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
CHARTA	196	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,8
CHIMA	43	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
CHIPATA	30	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1

CIMITARRA	1.661	0,01	0,02	0,02	0,10	0,3	0,3	1,0	1,0	6,6
CONCEPCION	5.835	0,01	0,01	0,01	0,10	1,2	1,2	2,3	2,3	23,3
CONFINES	136	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,5
CONTRATACION	98	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
COROMORO	234	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,9
CURITI	833	0,01	0,01	0,01	0,10	0,2	0,2	0,3	0,3	3,3
EL CARMEN DE CHUCURI	672	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,3	0,3	2,7

EL GUACAMA YO	26	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
EL PEÑON	44	0,01	0,02	0,02	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
EL PLAYON	659	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,3	0,3	2,6
ENCINO	854	0,01	0,01	0,01	0,10	0,2	0,2	0,3	0,3	3,4
ENCISO	2.168	0,01	0,01	0,01	0,10	0,4	0,4	0,9	0,9	8,7
FLORIAN	166	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,7
FLORIDAB LANCA	1.964	0,01	0,01	0,01	0,10	0,4	0,4	0,8	0,8	7,9
GALAN	3.970	0,01	0,01	0,01	0,10	0,8	0,8	1,6	1,6	15,9
GAMBITA	98	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
GIRON	1.981	0,01	0,01	0,01	0,10	0,4	0,4	0,8	0,8	7,9
GUACA	1.636	0,01	0,01	0,01	0,10	0,3	0,3	0,3	0,3	6,5
GUADALUP E	81	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3

MACARAVI TA	7.170	0,01	0,01	0,01	0,10	1,4	1,4	2,9	2,9	28,7
MALAGA	2.780	0,01	0,01	0,01	0,10	0,6	0,6	1,1	1,1	11,1
MATANZA	417	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,2	0,2	1,7
MOGOTES	748	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,3	0,3	3,0
MOLAGAVI TA	4.726	0,01	0,01	0,01	0,10	0,9	0,9	1,9	1,9	18,9
OCAMONT E	38	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
OIBA	179	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,7
ONZAGA	1.080	0,01	0,01	0,01	0,10	0,2	0,2	0,4	0,4	4,3
PALMAR	138	0,01	0,02	0,02	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,6
PALMAS DEL SOCORRO	182	0,01	0,02	0,02	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,7
PARAMO	60	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2

PIEDRECUES TA	4.858	0,01	0,01	0,01	0,10	1,0	1,0	1,9	1,9	19,4
PINCHOTE	94	0,01	0,02	0,02	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4
PUENTE NACIONAL	98	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
PUERTO PARRA	105	0,01	0,02	0,02	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4
PUERTO WILCHES	1.045	0,01	0,02	0,02	0,10	0,2	0,2	0,6	0,6	4,2
RIONEGRO	1.891	0,01	0,01	0,01	0,10	0,4	0,4	0,8	0,8	7,6
SABANA DE TORRES	7.579	0,01	0,02	0,02	0,10	1,5	1,5	4,5	4,5	30,3
SAN ANDRES	2.601	0,01	0,01	0,01	0,10	0,5	0,5	1,0	1,0	10,4
SAN BENITO	0	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

SAN GIL	231	0,01	0,02	0,02	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,9
SAN JOAQUIN	174	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,7
SAN JOSE DE MIRANDA	3.417	0,01	0,01	0,01	0,10	0,7	0,7	1,4	1,4	13,7
SAN MIGUEL	2.240	0,01	0,01	0,01	0,10	0,4	0,4	0,9	0,9	9,0
SAN VICENTE DE CHUCURI	5.566	0,01	0,02	0,02	0,10	1,1	1,1	3,3	3,3	22,3
SANTA BARBARA	349	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	1,4

SANTA HELENA DEL OPON	171	0,01	0,02	0,02	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,7
SIMACOTA	1.160	0,01	0,01	0,01	0,10	0,2	0,2	0,5	0,5	4,6
SOCORRO	196	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,8
SUAITA	344	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	1,4
SUCRE	366	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	1,5
SURATA	2.270	0,01	0,01	0,01	0,10	0,5	0,5	0,9	0,9	9,1
TONA	315	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	1,3
VALLE DE SAN JOSE	72	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
VELEZ	259	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
VETAS	50	0,01	0,01	0,01	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
VILLANUEVA	310	0,01	0,01	0,01	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	1,2
ZAPATOCA	10.077	0,01	0,01	0,01	0,10	2,0	2,0	4,0	4,0	40,3

SANTANDE	126.29	0,01	0,01	0,01	0,10	25,3	25,3	50,5	50,5	505,2
R	3									

Tabla 19.Reducción de metano de las tecnologías aerobias y anaerobia

Fuente: La autora

8.6.ANEXO 6. CO₂ eq de la reducción estimada por tratamiento aerobia y anaerobio

Municipio	CH4- DIGESTIÓN ANAEROBIA (kg/año)	Potencial de calentamiento	C02 eq reducido por el compostaje en tambor (kg/año)	C02 eq reducido por el compostaje en pila estática (kg/año)	C02 eq reducido por el compostaje intensivo en filas (kg/año)	C02 eq reducido por el compostaje pasivo en filas (kg/año)	CO2eq reducido por la digestión anaerobia (kg/año)
BUCARAMANGA	1,9	25,0	2,4	2,4	4,7	4,7	47,2
AGUADA	0,1	25,0	0,1	0,1	0,2	0,2	2,1
ALBANIA	0,1	25,0	0,1	0,1	0,1	0,1	1,3
ARATOCA	10,5	25,0	13,2	13,2	26,4	26,4	263,5
BARBOSA	0,1	25,0	0,1	0,1	0,2	0,2	2,1
BARICHARA	5,1	25,0	6,4	6,4	12,8	12,8	128,4
BARRANCABERMEJA	9,5	25,0	11,8	11,8	35,5	35,5	236,5
BETULIA	2,1	25,0	2,6	2,6	5,1	5,1	51,4
BOLIVAR	0,3	25,0	0,4	0,4	0,9	0,9	8,5

CABRERA	1,6	25,0	2,0	2,0	4,0	4,0	40,4
CALIFORNIA	0,5	25,0	0,6	0,6	1,3	1,3	12,8
CAPITANEJO	31,6	25,0	39,5	39,5	79,1	79,1	790,9
CARCASI	29,5	25,0	36,8	36,8	73,7	73,7	737,0
CEPITA	21,4	25,0	26,8	26,8	80,4	80,4	535,7
CERRITO	29,3	25,0	36,7	36,7	73,3	73,3	733,1
CHARALA	0,4	25,0	0,5	0,5	0,9	0,9	9,4
CHARTA	0,8	25,0	1,0	1,0	2,0	2,0	19,6
CHIMA	0,2	25,0	0,2	0,2	0,4	0,4	4,3
CHIPATA	0,1	25,0	0,1	0,1	0,3	0,3	3,0
CIMITARRA	6,6	25,0	8,3	8,3	24,9	24,9	166,1
CONCEPCION	23,3	25,0	29,2	29,2	58,4	58,4	583,5
CONFINES	0,5	25,0	0,7	0,7	1,4	1,4	13,6
CONTRATACION	0,4	25,0	0,5	0,5	1,0	1,0	9,8
COROMORO	0,9	25,0	1,2	1,2	2,3	2,3	23,4
CURITI	3,3	25,0	4,2	4,2	8,3	8,3	83,3

EL CARMEN DE CHUCURI	2,7	25,0	3,4	3,4	6,7	6,7	67,2
EL GUACAMAYO	0,1	25,0	0,1	0,1	0,3	0,3	2,6
EL PEÑON	0,2	25,0	0,2	0,2	0,7	0,7	4,4
EL PLAYON	2,6	25,0	3,3	3,3	6,6	6,6	65,9
ENCINO	3,4	25,0	4,3	4,3	8,5	8,5	85,4
ENCISO	8,7	25,0	10,8	10,8	21,7	21,7	216,8
FLORIAN	0,7	25,0	0,8	0,8	1,7	1,7	16,6
FLORIDABLANCA	7,9	25,0	9,8	9,8	19,6	19,6	196,4
GALAN	15,9	25,0	19,8	19,8	39,7	39,7	397,0
GAMBITA	0,4	25,0	0,5	0,5	1,0	1,0	9,8
GIRON	7,9	25,0	9,9	9,9	19,8	19,8	198,1
GUACA	6,5	25,0	8,2	8,2	8,2	8,2	163,6
GUADALUPE	0,3	25,0	0,4	0,4	0,8	0,8	8,1
GUAPOTA	0,1	25,0	0,1	0,1	0,2	0,2	2,1

GUAVATA	0,1	25,0	0,2	0,2	0,3	0,3	3,4
GÜEPSA	0,1	25,0	0,1	0,1	0,2	0,2	1,7
HATO	0,2	25,0	0,3	0,3	0,6	0,6	6,0
JESUS MARIA	0,4	25,0	0,4	0,4	0,9	0,9	8,9
JORDAN	9,5	25,0	11,9	11,9	35,6	35,6	237,6
LA BELLEZA	0,5	25,0	0,6	0,6	1,1	1,1	11,5
LANDAZURI	0,9	25,0	1,2	1,2	2,3	2,3	23,4
LA PAZ	0,2	25,0	0,2	0,2	0,7	0,7	5,0
LEBRIJA	6,9	25,0	8,6	8,6	17,2	17,2	172,1
LOS SANTOS	16,2	25,0	20,3	20,3	40,5	40,5	405,5
MACARAVITA	28,7	25,0	35,8	35,8	71,7	71,7	717,0
MALAGA	11,1	25,0	13,9	13,9	27,8	27,8	278,0
MATANZA	1,7	25,0	2,1	2,1	4,2	4,2	41,7
MOGOTES	3,0	25,0	3,7	3,7	7,5	7,5	74,8
MOLAGAVITA	18,9	25,0	23,6	23,6	47,3	47,3	472,6
OCAMONTE	0,2	25,0	0,2	0,2	0,4	0,4	3,8

OIBA	0,7	25,0	0,9	0,9	1,8	1,8	17,9
ONZAGA	4,3	25,0	5,4	5,4	10,8	10,8	108,0
PALMAR	0,6	25,0	0,7	0,7	2,1	2,1	13,8
PALMAS DEL SOCORRO	0,7	25,0	0,9	0,9	2,7	2,7	18,2
PARAMO	0,2	25,0	0,3	0,3	0,6	0,6	6,0
PIEDRECUESTA	19,4	25,0	24,3	24,3	48,6	48,6	485,8
PINCHOTE	0,4	25,0	0,5	0,5	1,4	1,4	9,4
PUENTE NACIONAL	0,4	25,0	0,5	0,5	1,0	1,0	9,8
PUERTO PARRA	0,4	25,0	0,5	0,5	1,6	1,6	10,5
PUERTO WILCHES	4,2	25,0	5,2	5,2	15,7	15,7	104,5
RIONEGRO	7,6	25,0	9,5	9,5	18,9	18,9	189,1
SABANA DE TORRES	30,3	25,0	37,9	37,9	113,7	113,7	757,9
SAN ANDRES	10,4	25,0	13,0	13,0	26,0	26,0	260,1
SAN BENITO	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SAN GIL	0,9	25,0	1,2	1,2	3,5	3,5	23,1

SAN JOAQUIN	0,7	25,0	0,9	0,9	1,7	1,7	17,4
SAN JOSE DE MIRANDA	13,7	25,0	17,1	17,1	34,2	34,2	341,7
SAN MIGUEL	9,0	25,0	11,2	11,2	22,4	22,4	224,0
SAN VICENTE DE CHUCURI	22,3	25,0	27,8	27,8	83,5	83,5	556,6
SANTA BARBARA	1,4	25,0	1,7	1,7	3,5	3,5	34,9
SANTA HELENA DEL OPON	0,7	25,0	0,9	0,9	2,6	2,6	17,1
SIMACOTA	4,6	25,0	5,8	5,8	11,6	11,6	116,0
SOCORRO	0,8	25,0	1,0	1,0	2,0	2,0	19,6
SUAITA	1,4	25,0	1,7	1,7	3,4	3,4	34,4
SUCRE	1,5	25,0	1,8	1,8	3,7	3,7	36,6
SURATA	9,1	25,0	11,3	11,3	22,7	22,7	227,0
TONA	1,3	25,0	1,6	1,6	3,1	3,1	31,5
VALLE DE SAN JOSE	0,3	25,0	0,4	0,4	0,7	0,7	7,2

VELEZ	1,0	25,0	1,3	1,3	2,6	2,6	25,9
VETAS	0,2	25,0	0,2	0,2	0,2	0,2	5,0
VILLANUEVA	1,2	25,0	1,6	1,6	3,1	3,1	31,0
ZAPATOCA	40,3	25,0	50,4	50,4	100,8	100,8	1.007,7
SANTANDER	505,2	25,0	631,5	631,5	1.262,9	1.262,9	12.629,3

Tabla 20. Equivalencia de CH₄ reducido en CO₂ por tratamiento aerobio y anaerobio

Fuente: La autora

8.7. ANEXO 7. Registro fotográfico de la hacienda con más caprinos en Lebrija Santander



Figura 25. Registro fotográfico de la hacienda con más caprinos en Lebrija Santander

Fuente: (CAPRISAN, 2021)