



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE EL
APROVECHAMIENTO DE EXCRETAS DE GANADO BOVINO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación

Profesor Guía
Ing. Mónica Delgado

Autora
Angie Janine Recalde Martínez

Año
2014

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajo de Titulación”.

.....

Ing. Mónica Delgado
Ingeniera Civil
C.I. 1713582557

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigente”.

.....

Angie Janine Recalde Martínez

C.I. 1714910773

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer la realización de este proyecto a todas las personas que mediante su apoyo, su conocimiento, tiempo y ayuda hicieron posible este proyecto.

Agradezco a mi familia, quienes son mi más profunda motivación, mi padre, mi mami y mi hermana. Sin ustedes no hubiera sido posible!

A mi novio Diego, que también estuvo siempre presente y compartimos esta experiencia juntos. Gracias!

A mi Profe Mónica y su bebé, gracias por su tiempo y esfuerzo hasta el último!

A TODO el gran equipo de profesores que conforma la Carrera de Ingeniería Ambiental, y la profe Lucy de Ingeniería Agroindustrial, siempre amables y prestos a brindar su tiempo y conocimiento.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este gran logro a mis padres y a mi hermana, quienes han sabido apoyarme en cada momento, hacia una oportunidad de mejora cada día, y me han entregado con todo su amor y el más sacrificado esfuerzo las herramientas para seguir adelante; sólo le pido a Dios, me permita entregarles muchos otros éxitos y recorrer siempre el camino de la vida junto a ustedes, únicos e indispensables, quienes me han guiado a lo largo de las lecciones de la vida.

Mi padre, mi Líder, el pilar de roble que ante ninguna adversidad te he visto ceder, siempre fuerte y ejemplar, guía siempre mi camino.

Mi madre, mi Gerente de Familia, madrecita has luchado y entregado toda tu vida por tus dos hijas, no alcanzaría la vida siquiera para agradecértelo.

Mi hermana, mi Mejor Amiga y compañera, me siento orgullosa de ti y admiro todo lo que haces por nosotros siempre. Que el camino nos mantenga siempre juntas!

A mi novio, que ha sido incondicional en cada momento, un fuerte apoyo, y me llena siempre de alegría, un gran amigo que la vida me dio.

A todos ustedes que son parte esencial de mis días y también de este proyecto. ¡LOS AMO!

RESUMEN

El siguiente proyecto de titulación, es una investigación realizada en base a una realidad que en la actualidad enfrentamos, el Cambio Climático, que es un efecto del desequilibrio en la concentración de gases normales de la atmósfera, como resultado del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivados de las actividades de los sectores industriales, energéticos, agropecuarios, desechos y domésticos a nivel general.

Sin embargo, a raíz de la celebración de la Convención Marco de las Naciones Unidas (1992) y el Protocolo de Kyoto (1997), nacen importantes iniciativas a nivel mundial para regular y reducir las emisiones de (GEI) provenientes de actividades antrópicas.

En el Ecuador, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) presenta dos lineamientos transversales de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático (MAE, 2011). Uno de los sectores que la ENCC señala como prioritario para iniciar acciones de Mitigación al cambio climático, es el sector agropecuario. Este sector representa una considerable fuente de emisiones de GEI, sin embargo, presenta también una gama de opciones para su mitigación.

El objetivo principal del proyecto fue generar una investigación para demostrar los beneficios ambientales y económicos del buen manejo y aprovechamiento del estiércol de ganado vacuno en la Región Interandina. Se realizó una investigación comparativa mediante modelación geo-estadística, entre las emisiones actuales provenientes del manejo no adecuado del estiércol de ganado vacuno en la Región Interandina del Ecuador, y se comparó con el resultado obtenido experimentalmente de la captura de emisiones de gas metano realizada con biodigestores a escala piloto. El resultado calculado tuvo una eficiencia del 3% de captura de emisiones de GEI de un total de 40383,63 Ton CO_{2eq}.

Se realizó una propuesta para centros ganaderos de pequeña escala sobre Buenas Prácticas de Manejo del Estiércol.

Estos resultados pueden ser potencializados y alcanzar una mayor eficiencia, para lo cual se requiere mejoras técnicas, transferencia de información y conocimiento y la implementación de Políticas Públicas que promuevan la ejecución de estos proyectos de mitigación, pues representan un beneficio ambiental y también pueden generar un ingreso económico a pequeños centros ganaderos e involucrarnos dentro del mercado de carbono a escala nacional.

ABSTRACT

The following project is an investigation based on the reality that we face today, Climate Change, which is an effect of the imbalance in the normal concentration of gases in the atmosphere as a result of increased emissions of greenhouse gas (GHG) arising from the operation of industrial, energy, agriculture, waste and domestic sectors.

However, following the conclusion of the Framework Convention of the United Nations (1992) and the Kyoto Protocol (1997), born major global initiatives to regulate and reduce emissions (GHG) from human activities.

In Ecuador, the National Climate Change Strategy (ENCC) has two transverse lines of Climate Adaptation and Mitigation (MAE, 2011). One of the sectors that ENCC designated as priority to take action on climate change mitigation, is the agricultural sector. This sector represents a significant source of GHG emissions, but also presents a range of options for mitigation.

The main objective of the project was to research and demonstrate the environmental and economic benefits of good management manure of cattle in the Inter Andean Region of Ecuador. A comparative study was conducted using geo-statistical modeling, between current emissions from inadequate manure management of cattle in the region, and it was compared with the results obtained experimentally from capture methane gas made with pilot scale digesters. The calculated result had an efficiency of 3% of GHG emissions capture from a total of 40,383.63 Ton CO₂e.

A proposal for small-scale farmers centers on Best Management Practices Manure was performed.

These results may be potentiated and achieve greater efficiency, which requires technical improvements, transfer of information and knowledge and the implementation of public policies that promote the implementation of these mitigation projects. They represent an environmental benefit and can also

generate an income to small farmer centers and also getting involved in the carbon market nationwide.

ÍNDICE

1.	Marco teórico.....	3
1.1	Gases de efecto invernadero	3
1.2	El sector pecuario y las emisiones de gases de efecto invernadero	5
1.2.1	Emisiones de metano provenientes del manejo de estiércol en el sector pecuario a nivel mundial	7
1.2.2	Inventario de las emisiones de metano y otros GEI en el Ecuador.....	10
1.3	Opciones de mitigación de las emisiones de metano a través del manejo mejorado del estiércol	15
1.4	Digestión anaerobia	16
1.4.1	Digestión anaerobia de carga completa.....	17
2.	Descripción de la situación actual	18
2.1	Situación actual a nivel nacional	18
2.2	Situación actual del Centro Experimental UDLA-NONO	24
2.2.1	Ubicación geográfica	24
2.2.2	Evaluación de la situación inicial en la granja UDLA-NONO.....	29
3.	Metodología.....	31
3.1	Cálculo de la producción de gas metano proveniente del estiércol mediante la metodología del IPCC	32

3.1.1	Determinación de las categorías de emisión a nivel provincial.....	35
3.2	Determinación experimental de la captura de gas metano mediante desplazamiento volumétrico.....	36
3.2.1	Diseño experimental	36
3.2.2	Construcción y puesta en marcha de los biodigestores para la producción de biogas.....	38
3.2.3	Cuantificación experimental de la captura de metano mediante la prueba de quemado y desplazamiento volumétrico.....	40
3.2.4	Cálculo de las emisiones capturadas de gas metano a nivel regional mediante aplicación de los datos experimentales.....	43
3.3	Modelación geo-estadística de mitigación a cambio climático	45
3.3.1	Extrapolación geo-referenciada de los datos experimentales al nivel de la región interandina	47
4.	Resultados	55
4.1	Estimación estadística de la producción de gas metano mediante la metodología del IPCC para manejo de estiércol	55
4.1.1	Categorización de las emisiones de gas metano a nivel provincial de la Región Interandina	56
4.2	Cuantificación experimental de la captura de gas metano.....	56
4.2.1	Gas metano capturado por cada tratamiento en función del tiempo.....	56

4.2.2	Prototipo del equipo de digestión anaerobia	57
4.2.3	Determinación de la captura de gas metano	57
4.2.4	Extrapolación de las emisiones capturadas de gas metano a nivel regional aplicando los datos obtenidos experimentalmente	60
4.3	Modelación geo-estadística de mitigación al cambio climático	63
4.3.1	Modelación geo-estadística de la región interandina	63
4.3.2	Geo modelación regional de existencias de ganado.....	65
4.3.3	Geo modelación emisión actual regional CH ₄ – Metodología IPCC.....	65
4.3.4	Geo modelación de captura y mitigación de emisiones de metano mediante el aprovechamiento del estiércol de ganado.....	65
5.	Análisis de Resultados	69
5.1	Porcentajes de emisión actual de metano calculado en la región interandina mediante la metodología del IPCC	69
5.1.1	Categorías de emisión de gas metano en la región interandina	70
5.2	Porcentaje de captura de gas metano mediante cuantificación experimental	72
5.2.1	Determinación del mejor tratamiento empleado en la experiencia.....	72
5.2.2	Equipo de digestión anaerobia	74
5.2.3	Captura de gas metano obtenida en función del tiempo	74

5.2.4	Mitigación estimada de emisiones de gas metano en la región interandina	80
5.3	Interpretación de los escenarios de modelación geoes-tadística.....	84
6.	Análisis Costo-Beneficio económico y ambiental.....	89
6.1	Macro análisis económico-ambiental.....	89
6.2	Micro análisis financiero	95
7.	Programa de Mitigación al Cambio Climático	98
7.1	Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) 2012 – 2025	98
7.1.1	Horizontes de planificación de la ENCC	98
7.2	Plan de Acción Climático de Quito 2012 – 2016.....	99
7.2.1	Línea Estratégica	100
7.2.2	Resultados.....	100
7.3	Programa de gestión de las excretas animales para la reducción de las emisiones de gas metano en centros ganaderos.....	100
8.	Conclusiones y Recomendaciones	111
8.1	Conclusiones.....	111
8.2	Recomendaciones	114
	REFERENCIAS.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Emisiones globales de metano procedentes del manejo de estiércol, 2004	9
Tabla 2. Inventario resumido de Emisiones de GEI. DMQ, 2007	14
Tabla 3. Inventario de Emisiones Resumido de GEI directos (Ton CO _{2eq}), 2007	14
Tabla 4. Composición química del biogas	17
Tabla 5. Datos de la Población Bovina en el Ecuador.....	19
Tabla 6. Detalles de la situación observada en el C.E.UDLA-NONO.....	30
Tabla 7. Factor de emisión de metano proveniente del manejo de estiércol, según temperatura y especie de ganado (kg CH ₄ /cabeza*año)	33
Tabla 8. Categorías de emisión de metano (Ton CH ₄ /año).....	35
Tabla 9. Definición de los tratamientos	37
Tabla 10. Ponderación de la calidad del biogas	40
Tabla 11. Resumen de actividades de la puesta en marcha y mediciones de biogás	43
Tabla 12. Cálculo emisiones CH ₄ provincial proveniente del manejo del estiércol	55
Tabla 13. Clasificación de provincias según categorías de emisión (Ton CH ₄ /año).....	56
Tabla 14. Captura experimental de metano	59
Tabla 15. Factor de Captura de emisiones/cabeza de ganado (kg CH ₄)	60
Tabla 16. Cálculo de Reducción de emisiones de CH ₄ capturadas	61
Tabla 17. Diferencia de emisiones actuales y reducción de emisiones.....	62
Tabla 18. Emisiones de metano capturadas en Ton CO _{2eq} /año.....	62
Tabla 19. Rango Bajo de emisión. Provincias de la R. Interandina	71
Tabla 20. Rango Medio de emisión. Provincias de la R. Interandina	71
Tabla 21. Rango Alto de emisión. Provincias de la R. Interandina.....	72
Tabla 22. Análisis de los resultados de los tratamientos	74
Tabla 23. Razón de producción de gas en el tiempo	80
Tabla 24. Resumen de los escenarios de mapas temáticos	85
Tabla 25. CER's estimados según el Proyecto de Investigación.....	90

Tabla 26. CER's estimados a un 40% de eficiencia de captura proyectado.....	92
Tabla 27. Costos de la implementación de un biodigestor para una granja pequeña.....	95
Tabla 28. Gastos anuales en fertilizantes y GLP.....	96
Tabla 29. Gastos considerando reemplazo de fertilizantes y GLP a biol y biogas.....	97
Tabla 30. Cantidades de biogás requeridas para varios usos.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Emisiones mundiales de metano antropogénico estimadas por fuente	10
<i>Figura 2.</i> Aporte sectorial de emisiones de GEI directos (Ton CO ₂ -eq). Ecuador	12
<i>Figura 3.</i> Evolución de emisiones de metano por sector (Ton CO ₂ -eq) Ecuador	13
<i>Figura 4.</i> Distribución Sectorial de Emisiones de GEI. DMQ, 2007	15
<i>Figura 5.</i> Porcentaje de población bovina en el Ecuador por provincias	20
<i>Figura 6.</i> Porcentaje de población bovina en el Ecuador por regiones	21
<i>Figura 7.</i> Ubicación de la parroquia de San Miguel de Nono	24
<i>Figura 8.</i> Cabezas de ganado del Centro Experimental UDLA-NONO. 2013	25
<i>Figura 9.</i> Cabezas de ganado del Centro Experimental UDLA-NONO. 2013 ...	26
<i>Figura 10.</i> Cabezas de ganado en el lugar de ordenamiento. 2013.....	26
<i>Figura 11.</i> Condición del establo durante el ordeñamiento. 2013	27
<i>Figura 12.</i> Estado del establo después las actividades de limpieza. 2013.....	27
<i>Figura 13.</i> Punto de descarga de las aguas de lavado del establo. 2013	28
<i>Figura 14.</i> Laguna de aguas residuales provenientes del establo. 2013.....	28
<i>Figura 15.</i> Agua residual proveniente de la limpieza del establo. 2013.....	29
<i>Figura 16.</i> Diagrama de procesos de la metodología	32
<i>Figura 17.</i> Diagrama de procesos de la metodología experimental	36
<i>Figura 18.</i> Biodigestor tipo bidón utilizado en la experiencia.....	38
<i>Figura 19.</i> Procesos de la puesta en marcha de los biodigestores	39
<i>Figura 20.</i> Procesos para la cuantificación del gas metano	42
<i>Figura 21.</i> Volumen de biogas que desplazó el líquido	42
<i>Figura 22.</i> Procesos de la metodología de geo-modelación estadística	46
<i>Figura 23.</i> Combinación de capas.....	48
<i>Figura 24.</i> Selección por atributos.....	48
<i>Figura 25.</i> Definición de la capa de análisis para el proyecto	49
<i>Figura 26.</i> Extracción de la capa definida del proyecto	49

<i>Figura 27.</i> Importar la tabla de excel con los datos requeridos	50
<i>Figura 28.</i> Unión de la tabla (<i>join</i>) con la capa de ubicación espacial	51
<i>Figura 29.</i> Selección de atributos de unión (<i>join</i>)	52
<i>Figura 30.</i> Definición de propiedades.....	53
<i>Figura 31.</i> Selección del método estadístico	54
<i>Figura 32.</i> Obtención del modelamiento (ejemplo).....	54
<i>Figura 33.</i> CH ₄ capturado en cada tratamiento experimental.....	57
<i>Figura 34.</i> Equipo para las mediciones de biogás.....	57
<i>Figura 35.</i> Combustión del biogás.....	58
<i>Figura 36.</i> Porcentaje de gas metano contenido en el biogás.....	60
<i>Figura 37.</i> Procesos y Resultados de la modelación geo-estadística	64
<i>Figura 38.</i> Mapa de existencias de Ganado en la Región Interandina	66
<i>Figura 39.</i> Mapa de emisión de Gas Metano proveniente del Manejo del Estiércol – IPCC	67
<i>Figura 40.</i> Mapa captura y mitigación de Emisión de Gas metano mediante el Aprovechamiento del Estiércol de Ganado	68
<i>Figura 41.</i> Emisión de metano actual por provincias (Ton CH ₄ /año).....	70
<i>Figura 42.</i> Volumen de gas obtenido según relación C/N	73
<i>Figura 43.</i> Calificación del biogás mediante ponderación numérica.....	75
<i>Figura 44.</i> Captura mensual de metano	76
<i>Figura 45.</i> Captura semanal de metano de la muestra 1	77
<i>Figura 46.</i> Relación de la producción de gas y la temperatura.....	79
<i>Figura 47.</i> Razón de producción de biogás versus tiempo.....	80
<i>Figura 48.</i> Cálculo de las emisiones capturadas (Ton CH ₄ /año) por provincia	81
<i>Figura 49.</i> Reducción de CH ₄ por captura (cálculo experimental).....	82
<i>Figura 50.</i> Emisión actual calculada versus mitigación de emisiones	83
<i>Figura 51.</i> Equivalencia del poder calorífico del metano	84
<i>Figura 52.</i> Comparación de escenarios de emisión de CH ₄	87
<i>Figura 53.</i> CER's estimados por provincia, según el Proyecto de Investigación	91

<i>Figura 54.</i> CER's estimados por provincia a un 40% de eficiencia de captura proyectado.....	93
<i>Figura 55.</i> Escenario de mitigación al C.C. suponiendo 40% de eficiencia de captura	94
<i>Figura 56.</i> Horizontes de planificación de la ENCC.....	99
<i>Figura 57.</i> Guía técnica general para el manejo de estiércol	104
<i>Figura 58.</i> Obtención de biol	109

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Emisiones de metano del manejo del estiércol.....	34
Ecuación 2. Cálculo de emisiones en Ton CO _{2eq} /año	34
Ecuación 3. Cálculo de reducción de emisiones de metano (Ton CH ₄ /año)	44
Ecuación 4. Mitigación calculada de emisiones de metano provenientes del estiércol	44

INTRODUCCIÓN

El alcance de este trabajo de titulación se basa en cuantificar las emisiones de gas metano producido por los desechos (excrementos), provenientes de la actividad ganadera-bovina a lo largo de la Región Interandina y realizar un programa o Buena Práctica de Manejo del estiércol a nivel piloto como iniciativa para el Centro Experimental UDLA-NONO, ubicado en la Parroquia de San Miguel de Nono; para impulsar su reducción a través de la propuesta de implementación de un biodigestor anaerobio, empleando como materia prima los residuos orgánicos ganaderos. De esta manera, se conseguirá el aprovechamiento de los desechos al transformarlos en productos que nos permitan beneficiarnos de su valor energético como el biogás, y obtener biofertilizantes para el acondicionamiento de suelos.

Se plantea una solución a pequeña escala pero de gran proyección para ser empleada en los diferentes sitios agrícola-ganaderos como una vía de auto-sostenibilidad en gestión de los desechos, contribuyendo de esta manera a la mitigación del cambio climático y captura de gases de efecto invernadero, resultados que se expresarán a través de una modelación geo-estadística.

Objetivo General

Diseñar un programa como estrategia de mitigación al Cambio Climático, para centros ganaderos de la región interandina del Ecuador, mediante el diseño piloto del aprovechamiento de los residuos del ganado bovino en el Centro Experimental UDLA-NONO a partir del análisis de la cuantificación de emisiones de gas metano provenientes de la actividad ganadera-bovina.

Objetivos Específicos

- Cuantificar la cantidad de metano (CH_4) producido por excretas de ganado en la región Interandina del Ecuador mediante estimaciones estadísticas.
- Realizar una metodología experimental en un biodigestor a escala piloto, y realizar una comparación de los resultados obtenidos vs las estimaciones estadísticas.
- Modelar mediante un análisis geo-estadístico los resultados encontrados.
- Identificar el beneficio ambiental que representa una iniciativa de mitigación a cambio climático en la región Interandina del Ecuador.
- Diseñar un programa de mitigación al cambio climático a pequeña escala que incluya el aprovechamiento de residuos orgánicos, reducción de gases efecto invernadero, valor energético como el biogás, y obtención de biofertilizantes

1. Marco teórico

1.1 Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero, son aquellos cuyo origen puede ser natural o antrópico; debido a sus propiedades de absorción de radiación infrarroja proveniente de la luz solar y a su baja emisión de la energía calórica hacia el exterior de la capa atmosférica, son la causa del denominado efecto invernadero en la Tierra (Panel Intergubernamental sobre cambio climático, 2001, p. 185).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) vinculada jurídicamente al Protocolo de Kyoto, inició en 1992, con el propósito específico de afrontar el efecto invernadero, mediante la aplicación de estrategias que permitan estabilizar las concentraciones de gases en la atmósfera en un lapso de tiempo aceptable desde el punto de vista económico y ecológico (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009, p. 89).

La Convención define “cambio climático” como: “Un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC distingue entre “cambio climático” atribuido a emisiones provenientes de actividades humanas que alteran la composición atmosférica y “variabilidad climática” atribuida a causas naturales (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, 2001, p. 175).

Según la Segunda Comunicación sobre Cambio Climático (2011), los Gases de Efecto Invernadero (GEI) directos considerados dentro de los estudios de emisiones del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) son: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), y los GEI indirectos son monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), halocarburos (HFC,

PFC), hexafluoruro de azufre (SF_6) y dióxido de azufre (SO_2) (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2011, p. 137).

Los GEI son esenciales e imprescindibles para la presencia de vida en el planeta, pues estos mantienen una temperatura global de 15°C al absorber la energía calórica que llega a la Tierra (Colque y Sánchez, 2007). El problema actual radica en las emisiones exageradas de los GEI que tienen su origen desde finales del siglo XIX cuando tuvo el auge la Revolución Industrial y por ende se atribuye en gran parte un acrecentamiento significativo a las emisiones de GEI de origen antrópico (Colque y Sánchez, 2007).

Un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero produce una mayor absorción de la radiación infrarroja que normalmente debería ser emitida hacia el exterior para mantener el equilibrio de las condiciones termodinámicas de la Tierra, por tanto, el Efecto Invernadero consiste en la compensación de la temperatura del sistema superficie – troposfera (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, 2001, p. 180).

En el documento de la Comunicación Nacional realizado en Ecuador en el año 2011, presidido por el Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE), y conformado por instituciones como la Secretaría Nacional de Planificación para el Desarrollo (SENPLADES), el Ministerio de Relaciones Exteriores, el Ministerio de Finanzas y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); respondiendo al compromiso de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), se plantea la Política Ambiental Nacional para la gestión de la adaptación y mitigación de la variabilidad climática para disminuir la vulnerabilidad social, económica y ambiental, para la posterior presentación e información de las acciones tomadas y las acciones previstas del país para enfrentar el Cambio Climático, realizando un previo estudio de las circunstancias nacionales, se determinaron directrices como el 'Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero' y la elaboración de 'Medidas de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático' (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2011).

Es así, que uno de los elementos resultantes de la Comunicación Nacional, es el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, el mismo que resume la compilación de los cinco inventarios sectoriales elaborados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, el Ministerio de Energía y Minas y el Ministerio del Ambiente. En el documento de la Comunicación Nacional se presentan los datos relevantes de la evolución de las emisiones durante los cuatro años de investigación (1990, 1994, 2000 y 2006), en los que se llevó a cabo en los diferentes sectores (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2011).

El Inventario Nacional de Emisiones de GEI está de acuerdo a la metodología establecida por el IPCC para la Guía de los Inventarios de GEI, considera cinco sectores principales para la medición, cuantificación y análisis; las categorías de sectores referidos son: Energía, Procesos Industriales, Agricultura, Uso del Suelo, Cambio en el Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS) y Desechos (Secretaría de Ambiente DMQ, 2011).

Los GEI directos, presentes en los estudios del Inventario son dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) y, los GEI indirectos, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM) (Secretaría de Ambiente DMQ, 2011).

1.2 El sector pecuario y las emisiones de gases de efecto invernadero

Según una publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (FAO, 2009); el sector pecuario aporta a la emisión de gases a la atmósfera de forma directa, mediante la respiración de los animales, la misma que constituye una mínima parte de la liberación neta de carbono atribuible al este sector. Mientras que de manera indirecta, la liberación neta de carbono es mucho mayor y proviene entre otros de los siguientes procesos (FAO, 2009, p. 95):

- Quema de combustibles fósiles destinados para producir fertilizantes minerales destinados a la producción de piensos (FAO, 2009, p. 95);
- Liberación de metano procedente de la descomposición de los fertilizantes y del estiércol animal (FAO, 2009, p. 95);
- Cambios en el uso de la tierra para la expansión de pastos y cultivos forrajeros (FAO, 2009, p. 95);
- Degradación de la tierra (FAO, 2009, p. 95);
- Uso de combustibles fósiles en la producción pecuaria y la producción de piensos (FAO, 2009, p. 95).
- Uso de combustibles fósiles en la producción y transporte de productos animales elaborados y refrigerados.

De esta manera se está contribuyendo al cambio climático debido al aumento en las emisiones de GEI (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009, p. 87).

La agricultura y la producción pecuaria, contribuyen de una manera muy amplia a la generación y emisión de gases de efecto invernadero de origen antropogénico (CH_4 , CO_2 , N_2O), por esta razón, se está buscando alternativas tanto para actuar de manera preventiva a la emisión, como para la reducción de las emisiones de estos gases (Bonilla, 2012).

Factores como la composición de la dieta de alimentación del ganado, la frecuencia de alimentación, el procesamiento previo del alimento y la digestibilidad del alimento, son los de mayor incidencia en la relación con la producción de CH_4 de los rumiantes (Bonilla, 2012).

Algunas de las estrategias para mitigar esta problemática que se desencadena alrededor del sector pecuario, trata sobre la disminución de emisiones gaseosas propias de la fermentación entérica mediante la manipulación dietética-nutricional empleando aditivos y la mitigación de las emisiones de CH_4 a través de un manejo adecuado del estiércol y el biogás (Bonilla, 2012).

En este proyecto de titulación se hará mayor énfasis en la investigación de la emisión y mitigación de gas metano proveniente del manejo del estiércol del ganado.

1.2.1 Emisiones de metano provenientes del manejo de estiércol en el sector pecuario a nivel mundial

En publicaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y de la Environmental Protection Agency, se indica que, cuando el estiércol del ganado se maneja de forma líquida en lagunas, estanques o pozos, se promueven condiciones anaeróbicas que facilitan la liberación del metano (FAO, 2009, p.108); (EPA, 2005).

En muchos países, la falta de la difusión de la tecnología, o bien por cuestiones económicas, las formas en que se maneja los desechos agrícolas, al no ser recogidos y procesados, sobre todo en lugares húmedos como las tierras bajas, pantanos y arrozales, ocurre la fermentación anaerobia de manera natural (Lorenzo y Obaya, 2005, p. 11).

Otra de las problemáticas que giran en torno al sector pecuario son las aguas residuales provenientes de procesos de limpieza de los establos, las mismas son descargadas libremente hacia cuerpos de agua naturales o lagunas artificiales de agua residual y generalmente no poseen un tratamiento adecuado (Pinos-Rodríguez et al., 2012). En aguas de estas características, se puede generar la emanación de malos olores, proliferación de plagas y vectores, eutrofización de agua, infiltración y contaminación de cuerpos de agua subterráneos y alteración de las condiciones naturales del suelo (Pinos-Rodríguez et al., 2012).

Además, es muy importante mencionar que tras la formación de estas lagunas, acequias, estanques y/o pantanos provenientes del agua residual, se encuentra una importante fuente de emisión de gases hacia la atmósfera como el metano, óxido nitroso (GEI) y el amoníaco. (FAO, 2009, p. 108).

El metano emitido directamente por el estiércol proviene de la acción de las bacterias metanogénicas capturadas en las heces, y de la digestión anaeróbica de la materia orgánica del estiércol en sitios confinados, estanques y lagunas anaeróbicas (Pinos-Rodríguez et al., 2012), debido que, como consecuencia de la acción de microorganismos degradadores de la materia orgánica, se genera una mayor demanda del Oxígeno en estas formaciones de agua residual, esto se traduce a lo que conocemos como eutrofización de los cuerpos de agua debido al aumento del DBO y de concentraciones altas de nutrientes, es entonces, cuando las condiciones de anoxia que se generan en estos cuerpos de agua inician la producción de gas metano, un gas de efecto invernadero 21 veces más “contaminante” que el dióxido de carbono debido a su alto poder calorífico (Pinos-Rodríguez et al., 2012).

Las emisiones provenientes del estiércol más altas, corresponden a China es el país con la mayor emisión nacional de metano procedente del estiércol (3,84 millones de toneladas de CH₄), principalmente de la producción porcina que representa el 83,3% de este tipo de emisiones. Le sigue los Estados Unidos de América con aproximadamente 1,9 millones de toneladas, (Inventario de EE.UU., 2004) (FAO, 2009, p.110).

Tabla 1. Emisiones globales de metano procedentes del manejo de estiércol, 2004

Región/país	Emisiones (millones de toneladas de CH ₄ , por año y fuente)						Total
	Ganado de leche	Otro Ganado	Búfalos	Ovejas y cabras	Cerdos	Aves de corral	
África subsahariana	0,1	0,32	0	0,08	0,03	0,04	0,57
Asia*	0,31	0,08	0,09	0,03	0,5	0,13	1,14
India	0,2	0,34	0,19	0,04	0,17	0,01	0,95
China	0,08	0,11	0,05	0,05	3,43	0,14	3,86
América Central y América del Norte	0,1	0,36	0	0,02	0,74	0,19	1,41
Asia Occidental y África del Norte	0,06	0,09	0,01	0,05	0	0,11	0,32
América del Norte	0,52	1,05	0	0	1,65	0,16	3,38
Europa Occidental	1,16	1,29	0	0,02	1,52	0,09	4,08
Oceanía y Japón	0,08	0,11	0	0,03	0,1	0,03	0,35
Europa Oriental y CEI	0,46	0,65	0	0,01	0,19	0,06	1,37
Otros países desarrollados	0,01	0,03	0	0,01	0,04	0,02	0,11
Total	3,08	4,43	0,34	0,34	8,37	0,98	17,5
4							
Sistemas de producción pecuaria							
Pastoreo	0,15	0,5	0	0,12	0	0	0,77
Mixto	2,93	3,89	0,34	0,23	4,58	0,31	12,2
8							
Industrial	0	0,02	0	0	3,8	0,67	4,49

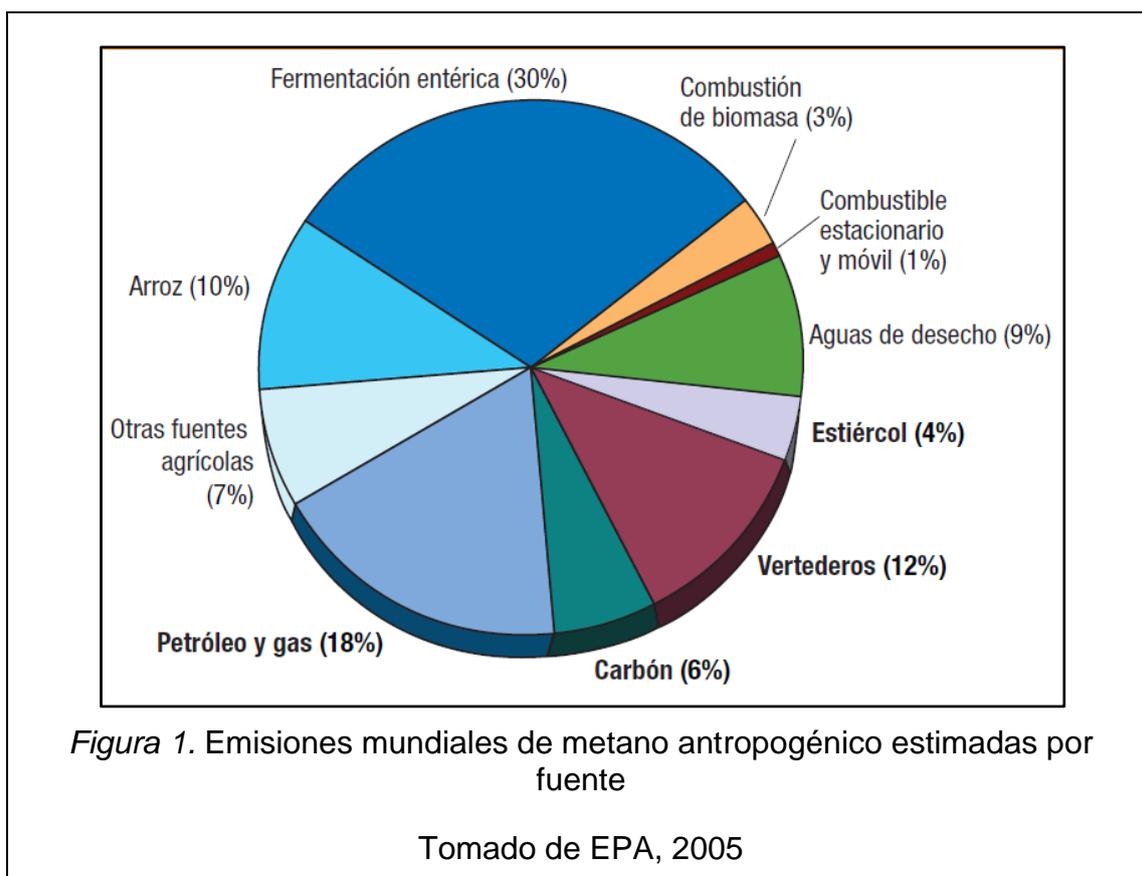
*No incluye China y la India

Tomado de FAO, 2009, p. 110

Los porcinos son los animales que más contribuyen a estas emisiones, seguidos del ganado de leche (FAO, 2009). Ver

Tabla 1.

A escala mundial, las emisiones de metano provenientes del manejo del estiércol, se han estimado en aproximadamente 17,54 millones de toneladas, es decir un 4% del total de las emisiones antropogénicas de metano, estimadas en 6.047 millones de toneladas métricas de CO₂ equivalente. Ver *Figura 1* (FAO, 2009), (Environmental Protection Agency [EPA], 2005)



1.2.2 Inventario de las emisiones de metano y otros GEI en el Ecuador

Según los resultados obtenidos en el Inventario Nacional de Emisiones de GEI, durante los cuatro años de estudio, al realizar el análisis de la evolución sectorial de las emisiones de GEI directo (N₂O, CO₂ y CH₄), empleando la metodología del IPCC, se registró una estimación equivalente a las emisiones totales de los tres GEI directos en Ecuador que pasaron de 265 139,7 kTon CO_{2eq}, en el año 1990, a 410 010,75 kTon CO_{2eq} en 2006. Es decir, hubo un

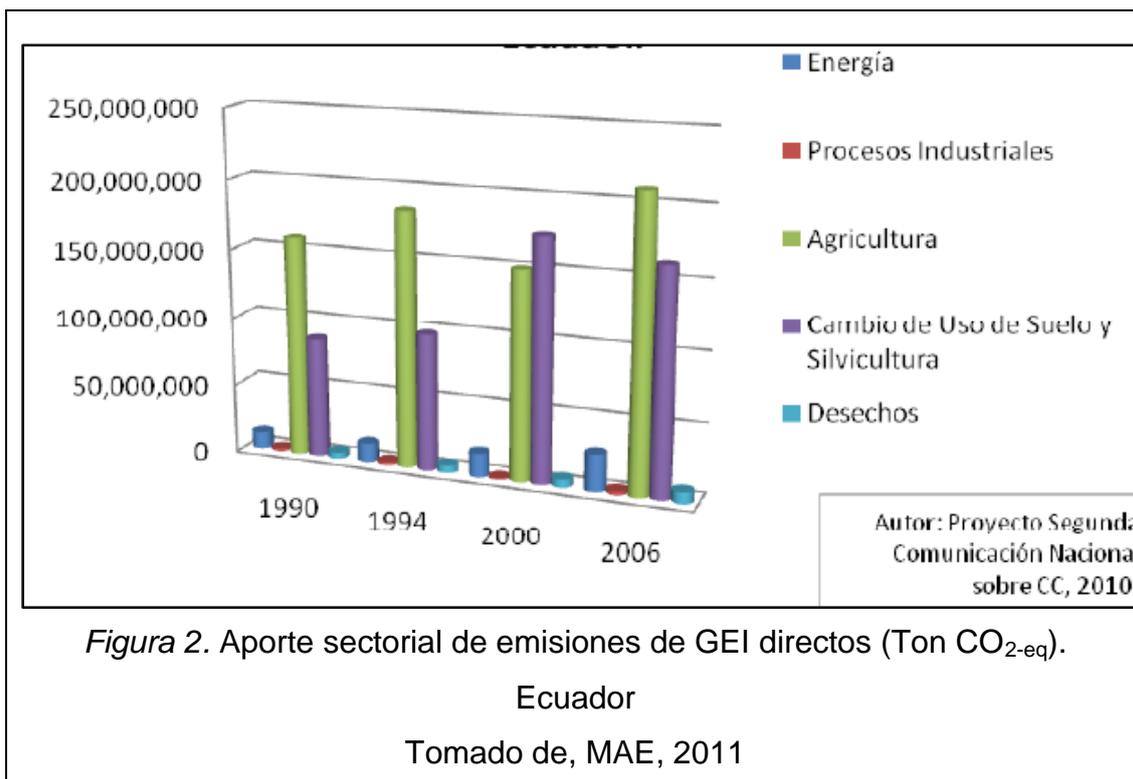
incremento porcentual del 54,6% en 16 años. (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2011)

En la *Figura 2*, se puede observar que el sector agrícola es el que más aporta a las emisiones totales de GEI directos en el Ecuador, seguido por el sector Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) y en menor escala por los sectores de energía, desechos y procesos industriales (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2011).

Como resultado del aumento de la conversión de bosques y pastizales a otros usos como la agricultura y por las actividades de manejo y uso de los suelos entre los años 1990 y 2000, las emisiones totales en el sector USCUSS prácticamente se duplicaron (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2011).

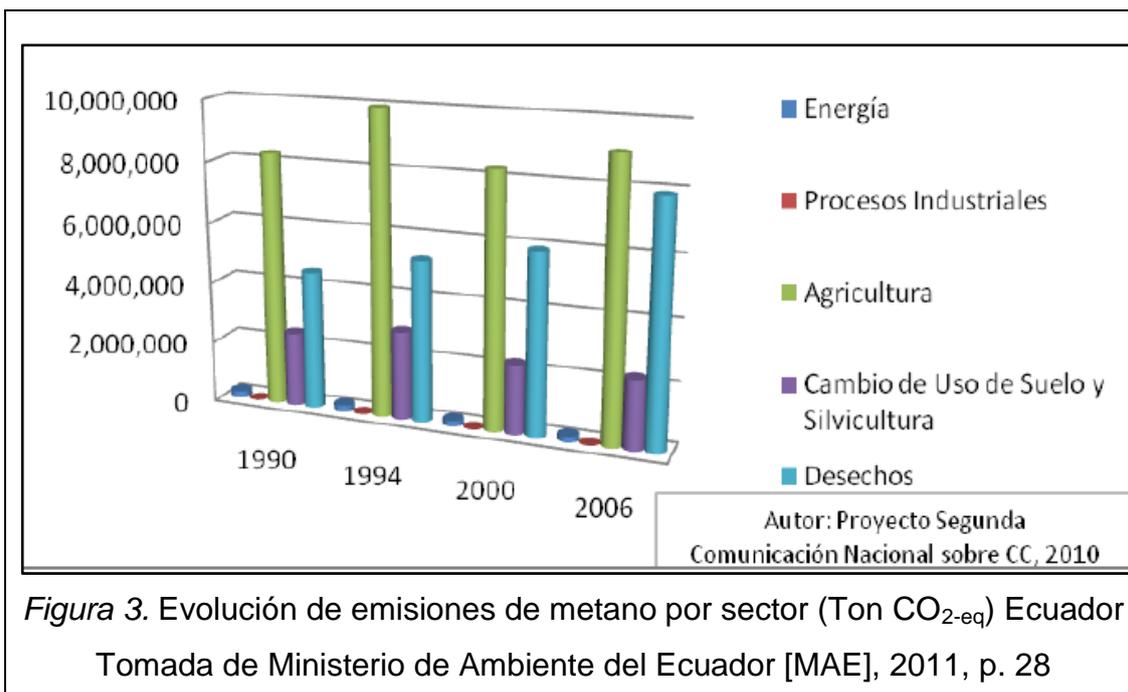
En el sector agricultura, durante el año 2000, las emisiones disminuyeron con relación a los años 1990 (5,6%) y 1994 (18,5%), como resultado de un menor número de animales en pastoreo, lo cual generó una disminución de emisiones, de metano por fermentación entérica y manejo del estiércol, como de óxido nitroso por el pastoreo en pastizales (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2011).

Es importante destacar que entre el año 2000 y 2006 se experimentó un incremento importante en el sector agricultura del orden del 39,5% y un decremento en el sector USCUSS del 7,3% (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2011).



Se debe enfatizar que en el sector agrícola, la mayor fuente de emisiones de GEI se debe a los suelos agrícolas, debido a que estos generan óxido nítrico; y en menor escala se encuentra la emisión de metano por fermentación entérica y manejo de excretas de ganado, ambos gases con altos potenciales de calentamiento (Secretaría de Ambiente DMQ, 2011).

Como se puede observar en la *Figura 3*, el sector agrícola es la principal fuente de emisiones de metano (CH₄), seguido por el sector desechos. En el análisis de la evolución de las emisiones de metano, se puede apreciar un incremento del 18,6% del año 1990 al año 1994; la disminución de emisiones en el año 2000 en comparación con 1994, resulta de la reducción del número de animales en pastoreo, y por ende, menores emisiones de metano por fermentación entérica como por el manejo del estiércol (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2011, p. 27).



Podemos tomar en cuenta también los datos analizados en el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, en el cual se obtuvo un valor neto de GEI de 20'934136 Ton de CO₂eq, mediante el uso de los Potenciales de Calentamiento Global expuestos en el Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC, (CO₂ = 1, CH₄ = 21 y N₂O = 310) (Secretaría de Ambiente DMQ, 2011) (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2011).

En la *Tabla 2* se puede observar las emisiones de los diferentes gases de efecto invernadero expresadas en Gigagramos, de los cinco sectores en estudio. Por volumen de emisiones totales, se puede ver que es el dióxido de carbono el GEI de mayor generación, siendo el metano el gas que ocupa el segundo lugar y en tercer lugar el monóxido de carbono como los gases de mayor volumen de emisión (Secretaría de Ambiente DMQ, 2011) (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2011)

Tabla 2. Inventario resumido de Emisiones de GEI. DMQ, 2007

Categorías de fuentes y sumideros de Gases de Efecto Invernadero	CO ₂ emisiones	CO ₂ remociones	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVNM
	Gigagramos						
1. Energía	3.063,033		0,527	0,030	22,352	157,214	29,387
2. Procesos Industriales	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,126
3. Agricultura			10,530	24,891	0,813	47,055	0,000
4. Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura	3.055,485	0,000	1,380	0,009	0,343	12,077	0,000
5. Desechos			323,449	0,109	0,000	0,000	0,000
TOTAL	6.118,518	0,000	335,886	25,039	23,508	216,346	31,513

Tomado de, Secretaria de Ambiente DMQ, 2011

Sin embargo, esta perspectiva cambia cuando se expresa las emisiones sectoriales de GEI en una misma unidad de medida que toma en cuenta el diferente potencial de calentamiento propio de cada gas (Ton CO₂-eq). Con esta nueva unidad de medida podemos observar en la *Tabla 3* que el gas que representa la mayor incidencia, es el óxido nitroso (N₂O), en segundo lugar el metano (CH₄), y en tercer lugar queda el dióxido de carbono (CO₂) (Secretaria de Ambiente DMQ, 2011).

Tabla 3. Inventario de Emisiones Resumido de GEI directos (Ton CO₂eq), 2007

Categorías de fuentes y sumideros de Gases de Efecto Invernadero	CO ₂ emisiones	CO ₂ remociones	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
	Ton CO ₂ - eq				
1. Energía	3.063.033,2		11.070,4	9.215,3	3.083.318,9
2. Procesos Industriales	0,0		0,0	0,0	0,0
3. Agricultura			221.130,9	7.716.118,2	7.937.249,0
4. Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura	3.055.485,2		28.985,0	2.941,6	3.087.411,9
5. Desechos			6.792.424,7	33.732,3	6.826.157,0
TOTAL	6.118.518,4	0,0	7.053.611,0	7.762.007,4	20.934.136,8

Tomado de, Secretaria de Ambiente DMQ, 2011

De la emisión de GEI directos neta registrada de 20'934 136,8 Ton CO_{2eq}, podemos observar en la *Figura 4* que, el 38% de emisiones proviene del “Sector Agropecuario” debido a los suelos agrícolas, la fermentación entérica y el manejo de excretas; el 32% de emisiones es generada por el “Sector Desechos”, el cual hace mención a los rellenos sanitarios y botaderos; el 15% son emisiones provenientes del “Sector Energías” por la quema de combustibles fosiles, industrias y fuentes fijas y móviles; y el restante 15% de emisiones, corresponde a el “Sector Uso del Suelo, Cambio en el Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS)” (Secretaria de Ambiente DMQ, 2011).

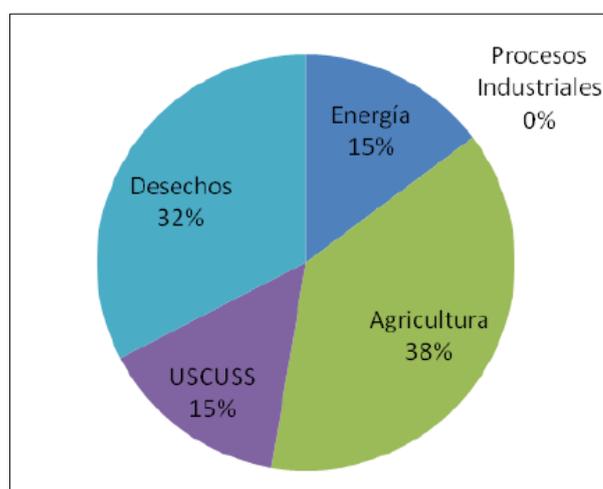


Figura 4. Distribución Sectorial de Emisiones de GEI. DMQ, 2007
Tomado de, Secretaria de Ambiente DMQ, 2011

1.3 Opciones de mitigación de las emisiones de metano a través del manejo mejorado del estiércol

A la vez que el sector pecuario aporta de manera significativa a la emisión de gases a la atmósfera y al Cambio Climático, existen medidas que pueden contribuir a su mitigación (FAO, 2009, 128).

Sin embargo, para hacer realmente efectiva una acción de mitigación, se debe optar por la aplicación de políticas públicas, ya que los niveles de emisiones más altos provienen de los sistemas ganaderos que poseen escasos recursos

para realizar inversiones que modifiquen la forma en la que el estiércol es manejado (FAO, 2009, 128).

La reducción de emisiones durante el manejo de estiércol tiene un amplio potencial y genera importantes beneficios económicos, ambientales, energéticos y de salubridad (EPA, 2005); (FAO, 2009, 136). Algunas de las opciones de mitigación de CH₄ mediante manejo del estiércol, se mencionan a continuación:

- Flamas de quemadores para generación de energía (combustión) (FAO, 2009, 136).
- Enfriamiento del estiércol (por debajo de los 10°C) (FAO, 2009, 136).
- Biofiltros especiales (oxidación biológica) (FAO, 2009, 136).
- Compostaje y tratamiento aeróbico (FAO, 2009, 136).
- Digestión anaeróbica (FAO, 2009, 136).

Esta última opción de mitigación de emisiones, permite la recuperación del gas metano y su uso como combustible o generador de energía, además que favorece a la mitigación de otros gases mediante la utilización para acondicionamiento del suelo con los bioles resultantes de esta práctica (EPA, 2005); (FAO, 2009, 136).

Se presume que mediante la digestión anaerobia, el potencial de reducción de emisiones es de un 50% en países de clima templado y de un 75% en países de clima cálido (FAO, 2009, 137).

La propuesta de manejo mejorado del estiércol de ganado que se propone en este proyecto de investigación es mediante la alternativa de la digestión anaeróbica. A continuación se explica un poco más acerca de este tema.

1.4 Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso fermentativo que ocurre en ausencia de un oxidante, en un receptáculo cerrado herméticamente y mediante la interacción de la actividad diferentes poblaciones bacterianas, como bacterias metanogénicas en su mayoría, fermentativas y acetogénicas (FAO, 2009, 137).

Un resumen sencillo del proceso de digestión anaerobia, se puede decir que, la materia orgánica que ingresa (estiércol y restos vegetales) se coloca bajo la acción de microorganismos anaerobios con condiciones de operación adecuadas tales como:

- Temperatura alrededor de lo 25 a 35°C;
- C/N una relación de 20:1 a 30:1 respectivamente y
- pH de 6 a 8

para que favorezcan la degradación y dar como resultado el biogas (composición química descrita en la Tabla 4) y el biol o fertilizante orgánico líquido (Guerrero et al., 2011, p. 45).

Tabla 4. Composición química del biogas

COMPONENTES	FORMULA QUÍMICA	PORCENTAJE
Metano	CH ₄	60 – 70
Dióxido de carbono	CO ₂	30 – 40
Acido Sulfhídrico	H ₂ S	0 – 3
Otros		0,1

Tomado de: Lorenzo y Obaya, 2005

La técnica de la digestión anaerobia, se la puede implementar mediante lagunas cubiertas y digestores de flujo tipo pistón y de mezcla o carga completa, donde se degrada los desechos orgánicos, generando productos como el abono o biol y el biogas (EPA, 2005).

1.4.1 Digestión anaerobia de carga completa

El proceso de digestión anaerobia de carga completa, refiere a una única carga de materia orgánica que se somete al proceso de degradación bacteriana, es decir, no existe una carga constante por lotes de materia orgánica en el equipo empleado (Guerrero et al., 2011, p. 45).

2. Descripción de la situación actual

2.1 Situación actual a nivel nacional

Según el VII Censo de Población y VI de Vivienda 2010, se estima que el 20,77% de la población del Ecuador, de un total de 15'755 489 habitantes a nivel nacional, dedican sus actividades económico-productivas al sector agropecuario (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010).

El sector agropecuario representa una actividad productiva a la cual la quinta parte del total de la población del país se dedica para la obtención de ingresos económicos y para la manutención de sus familias (INEC, 2010).

Por esta razón, resulta relevante considerar los datos actuales reales de la situación actual del país en cuanto a la cantidad de ganado existente.

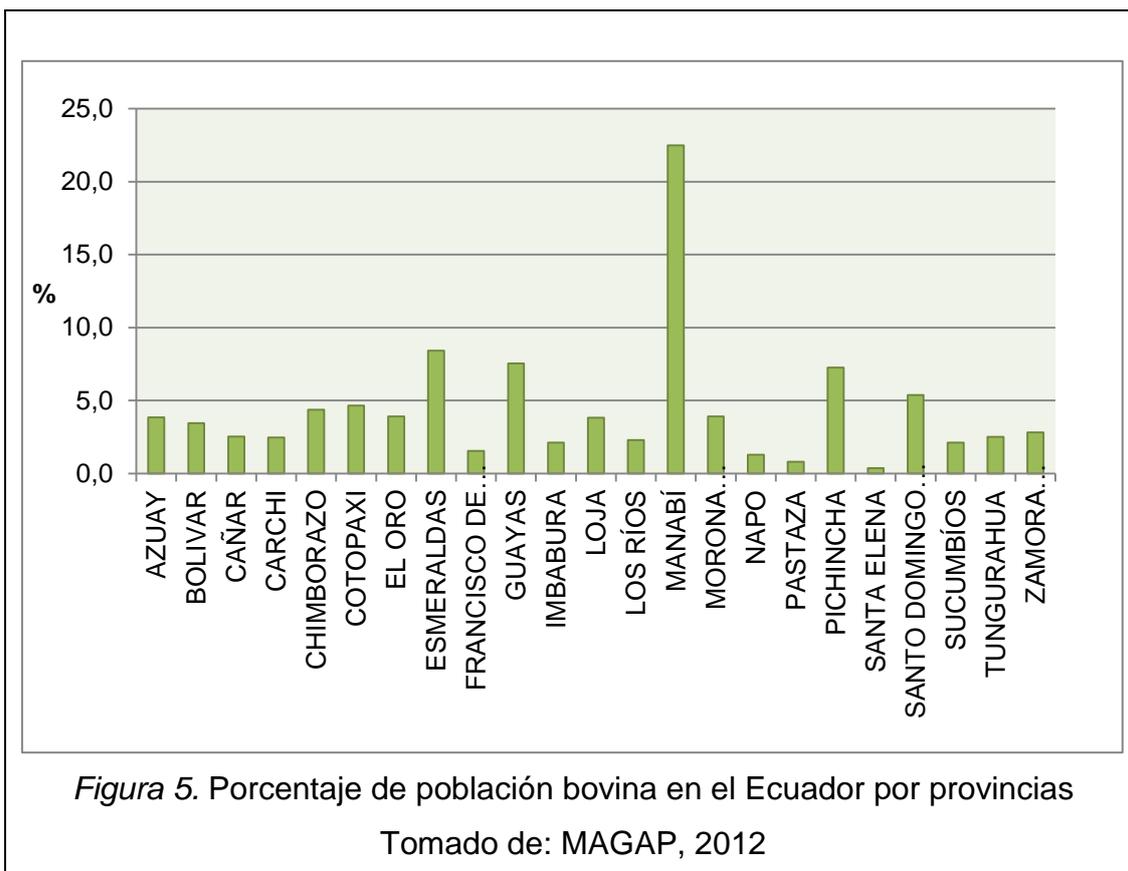
Según información adquirida en el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca sobre el último censo realizado en el año 2012 sobre la Población Bovina en el Ecuador, se obtuvo que el total de cabezas de ganado existente hasta el año 2012 es de 4'530 216, el mismo que se encuentra distribuido de la siguiente manera 6,5% pertenece a Toros; el 35,9% corresponde a vacas; terneros y terneras representan el 21,6%; toretes son el 15,6%; a vaconas corresponde el 20,3% y dentro de otras especies se puede considerar el 0,1% (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP], 2012).

En la *Tabla 5* y en la *Figura 5* podemos observar la distribución de la existencia de ganado bovino en el Ecuador por provincias, el 22,5% del total nacional de la existencia de cabezas de ganado se encuentra presente en la provincia de Manabí, en segundo lugar se encuentra la provincia de Esmeraldas con un 8,4%, en tercer lugar la provincia de Guayas con un 7,5% , seguida de la provincia de Pichincha con un 7,3%. La provincia con la menor existencia de cabezas de ganado es la provincia de Pastaza con un 0,8% (MAGAP, 2012).

Tabla 5. Datos de la Población Bovina en el Ecuador

PROVINCIA	Suma Total	Toros	Vacas	Terneros	Terneras	Toretas	Vaonas	Otra especie
AZUAY	174033	18923	71229	17861	18958	17428	29628	0
BOLIVAR	156543	15949	54355	18166	18243	22829	27012	1
CAÑAR	115338	8503	50496	13400	12535	10313	20083	8
CARCHI	112135	7231	48317	11136	15036	9182	21340	0
CHIMBORAZO	198227	20356	74185	26566	23201	20928	33069	0
COTOPAXI	211207	17777	78886	27505	22679	37949	26594	0
EL ORO	176850	8157	65810	17887	16359	31813	36844	0
ESMERALDAS	381950	12397	125621	33849	34768	90130	83377	1808
FRANCISCO DE ORELLANA	70265	9927	19915	6625	6398	13681	13410	5
GUAYAS	341903	13001	123442	35907	40029	48191	78532	2189
IMBABURA	95632	12007	29644	8608	9992	18721	16658	0
LOJA	172915	13457	60582	19513	17949	26320	38093	0
LOS RÍOS	104280	6492	35338	12601	14154	13319	22373	3
MANABÍ	1018955	29720	366626	111781	116168	152197	242451	21
MORONA SANTIAGO	177275	22626	66545	15780	14528	23944	33855	0
NAPO	58620	5767	17918	5607	5573	12014	11481	2
PASTAZA	36438	5052	11178	3687	3867	6116	6542	0
PICHINCHA	329418	23001	129371	25860	41588	42568	66945	162
SANTA ELENA	16848	784	7111	1955	2264	1312	3422	0
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	243525	10898	78914	25166	28593	51826	47846	1282
SUCUMBÍOS	95789	5033	31647	10960	10595	19463	18091	0
TUNGURAHUA	114057	11996	45716	12169	14040	13211	16919	1
ZAMORA CHINCHIPE	128013	14065	34398	16460	15392	22863	24828	0
TOTAL GENERAL	4530216	293119	1627244	479049	502909	706318	919393	5482

Tomado de: (MAGAP, 2012)



Como se puede observar en la *Figura 6*, el mayor porcentaje de existencias de cabezas de ganado vacuno se encuentra distribuido en la región Litoral del Ecuador continental, abarcando el 45% de la población del ganado del país, seguido de la región Interandina que posee el 43% de la población ganadera, mientras en la región Amazónica se encuentra el restante 12% de la población bovina (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP], 2012).

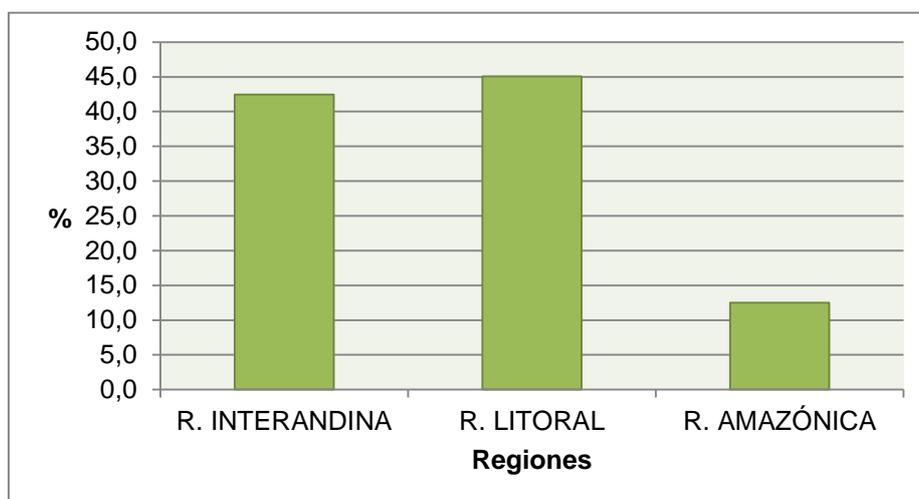


Figura 6. Porcentaje de población bovina en el Ecuador por regiones
Tomado de MAGAP, 2012

Los beneficios prestados por el sector pecuario como sector económico-productivo son múltiples si nos referimos a este como fuente directa e indirecta de trabajo, fuente de ingresos y réditos económicos, es un sector muy considerado para la industria alimenticia, y muchas otras industrias dependen y se desprenden de él; pero es importante también mencionar los impactos y repercusiones que representa, considerando que existen soluciones y alternativas para potencializar la sostenibilidad de esta actividad productiva (EPA, 2005).

En su mayoría los centros agropecuarios no realizan ningún tipo de tratamiento efectivo para la gestión de los residuos generados y las aguas residuales provenientes de este tipo de actividad productiva. De una manera breve, las aguas residuales del sector pecuario dependen en gran parte del tipo de actividad que se desarrolle, así por ejemplo, de una actividad intensiva, se generan normalmente vertidos directos, localizados, constantes y concentrados a los cauces (FAO, 2009)

Por el contrario, si el ganado es de tipo estabulado al aire libre, la contaminación a los cauces es de tipo difusa y depende de fenómenos hidrológicos, originando la contaminación de agua y suelo por escorrentía superficial o contaminación subsuperficial de agua y suelo por lixiviación (FAO, 2009)

Otra importante fuente de contaminación es la emisión de gases de efecto invernadero proveniente de dos maneras principales: la fermentación entérica y el estiércol y el manejo o gestión que se da al mismo (FAO, 2009).

Se mencionó de una forma más amplia la información referente al tipo de gases de efecto invernadero y cantidades referenciales provenientes del sector agropecuario en el *Capítulo I, Figura 2 y Tabla 3*.

Actualmente, el Ecuador en su interés y preocupación que desencadena la vulnerabilidad social, económica y ambiental debido a efectos ya presentes del cambio climático, ha designado al Ministerio del Ambiente del Ecuador según su competencia y sus funciones como Autoridad Ambiental Nacional y como representante del Comité Interinstitucional de Cambio Climático del Gobierno del Ecuador de la Revolución Ciudadana, la responsabilidad de liderar la gestión del cambio climático a nivel nacional en respuesta al compromiso asumido respecto a la aplicación y participación del país en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2012).

Producto de este esfuerzo liderado por el Ministerio de Ambiente del Ecuador, surge la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), que tras ejecutar algunas etapas de recopilación, análisis de información, talleres de socialización a diferentes actores de la Sociedad Civil y de Gobierno; se ha conseguido realizar una propuesta para la estructuración de la Estrategia (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2012).

La visión de la Estrategia Nacional de Cambio Climático se ha definido hacia el año 2025, con el propósito de establecer en el largo plazo un estado de situación deseable respecto a la gestión de cambio climático en el país. Los

dos ejes de trabajo planteados para el cumplimiento de la visión de la Estrategia son: (1) adaptación y (2) mitigación del cambio climático (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2012).

Dentro del Plan Nacional de Adaptación, se busca crear y fortalecer la capacidad del país para afrontar los impactos negativos del cambio climático, mediante, entre otros, un Sistema Integral de Gestión de Riegos que aporte al desarrollo del país (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2012, p. 3)

Acorde a la información analizada previo la elaboración de la ENCC, se han identificado sectores prioritarios en los que es necesario iniciar acciones para afrontar los retos al cambio climático. De esta forma, los sectores prioritarios para la adaptación al cambio climático en Ecuador son: (1) agricultura, ganadería y soberanía alimentaria; (2) pesca y acuicultura; (3) salud; (4) recursos hídricos; (5) ecosistemas naturales; (6) grupos humanos vulnerables; (7) turismo; (8) infraestructura; y (9) asentamientos humanos. (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2012, p. 3).

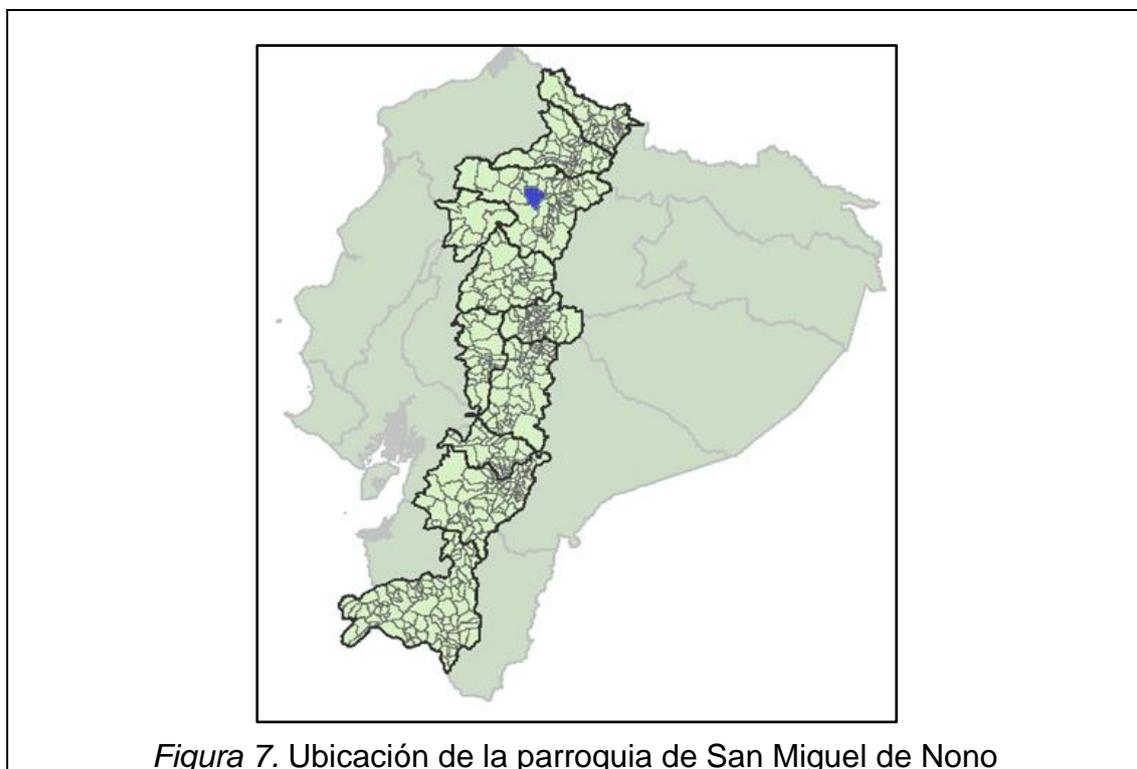
El Plan Nacional de Mitigación, por su parte, pretende constituir un marco de referencia nacional sobre medidas y acciones que deben implementarse para la captura reducción de emisiones de GEI en los sectores prioritarios (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2012, p. 3)

Para la identificación de los sectores prioritarios a actuar sobre el eje de trabajo de la mitigación del cambio climático, o reducción de los gases de efecto invernadero, se tomó como referencia el criterio de los sectores y subsectores que emiten mayor cantidad de GEI y con mayor tendencia al incremento según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y la importancia relativa del sector en la economía del país. Es así que los sectores prioritarios para la reducción de emisiones de GEI en Ecuador son: (1) agricultura; (2) uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura; (3) energía; (4) manejo de desechos sólidos y líquidos; y (5) procesos industriales (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2012)

2.2 Situación actual del Centro Experimental UDLA-NONO

Como parte de las instalaciones de la Universidad de las Américas, el Centro Experimental UDLA-NONO, conforma un apéndice fundamental para llevar a cabo investigaciones y trabajos de aplicación de campo en las diferentes áreas como Ingeniería Agroindustrial, Veterinaria y Ambiental. En este sitio se encuentran espacios destinados a proyectos de investigación meteorológica, agrícolas, ganaderos y ambientales.

2.2.1 Ubicación geográfica



El Centro Experimental UDLA-NONO, se encuentra ubicado en la parroquia de San Miguel de Nono (*Figura 7*), a 45 minutos de la ciudad de Quito, la temperatura media en la parroquia de San Miguel de Nono, varía de 12 a 19°C.

La superficie del Centro Experimental de la Universidad de las Américas (CEUN) es de aproximadamente 34 hectáreas (Sandoval, 2013).

En el Centro Experimental, la presencia de 46 cabezas de ganado vacuno, generan excretas en una cantidad todavía no cuantificada en el lugar, mismas que son fuente de malos olores y eutrofización de cuerpos de agua. (Sandoval, 2013)

En una primera salida de observación realizada en Febrero del 2013, hacia el CEUN, se pudo constatar según lo que el Ingeniero José Sandoval nos narró y lo que pudimos observar sobre la situación, es que, de las 46 cabezas de ganado, 21 cabezas de ganado lechero se concentran en el establo. Ver *Figura 8*, *Figura 9* y *Figura 10*. En este lugar se acumula la mayor cantidad de estiércol debido a su permanencia hasta que se concluya con la actividad de ordeñamiento *Figura 11*, y consiguiente a esto, con finalidades de mantener la asepsia requerida en el sitio, se realizan dos lavados diarios *Figura 12*. Estas aguas de lavado son descargadas hacia las afueras del establo a través de una tubería de PBC *Figura 13*, en este sitio se forma una laguna de agua residual (que no cuenta con ningún tipo de infraestructura para su tratamiento hasta la presente fecha) *Figura 14* y *Figura 15*.



Figura 8. Cabezas de ganado del Centro Experimental UDLA-NONO. 2013



Figura 9. Cabezas de ganado del Centro Experimental UDLA-NONO. 2013



Figura 10. Cabezas de ganado en el lugar de ordenamiento. 2013



Figura 11. Condición del establo durante el ordeñamiento. 2013

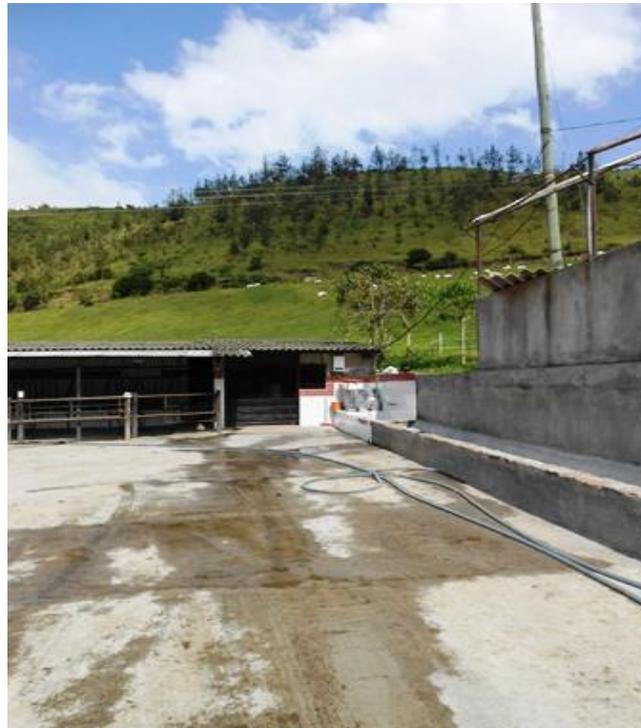


Figura 12. Estado del establo después las actividades de limpieza. 2013



Figura 13. Punto de descarga de las aguas de lavado del establo. 2013



Figura 14. Laguna de aguas residuales provenientes del establo. 2013



Figura 15. Agua residual proveniente de la limpieza del establo. 2013

2.2.2 Evaluación de la situación inicial en la granja UDLA- NONO

a) Salidas de observación

Durante esta fase de OBSERVACIÓN realizada en los meses de Febrero y Marzo del año 2013, se aprecia ciertas condiciones fundamentales y de relevante importancia para el planteamiento y posterior puesta en marcha de la “Propuesta de Gestión y Aprovechamiento de excretas de ganado” en el Centro Experimental UDLA-NONO.

Se puede observar en la *Tabla 6* la descripción de las condiciones y sus subsiguientes efectos producidos.

Tabla 6. Detalles de la situación observada en el C.E.UDLA-NONO

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	CONSECUENCIA
Existencia de 46 cabezas de ganado en el C.E.UDLA-NONO.	21 cabezas de ganado lechero llegan al establo dos veces al día para ser ordeñadas.	Generación de residuos (estiércol) en cantidades no cuantificadas.
Limpieza del establo dos veces al día.	1. Limpieza realizada a las 6:00hrs. 2. Limpieza realizada a las 17:00hrs.	Generación de aguas residuales.
Uso de agua caliente para la limpieza del establo.	La limpieza del establo se realiza empleando GLP para el calefón.	Uso de 1 tanque de gas/mes para esta actividad.

Tomado de, Sandoval, 2013

3. Metodología

En el presente proyecto se investigó fuentes de información sobre el tema propuesto, las mismas que se citan en el Capítulo II del proyecto y que son la base fundamental de la descripción de la situación actual nacional, también se realizó visitas periódicas al Centro Experimental UDLA-NONO para describir la situación actual de la granja.

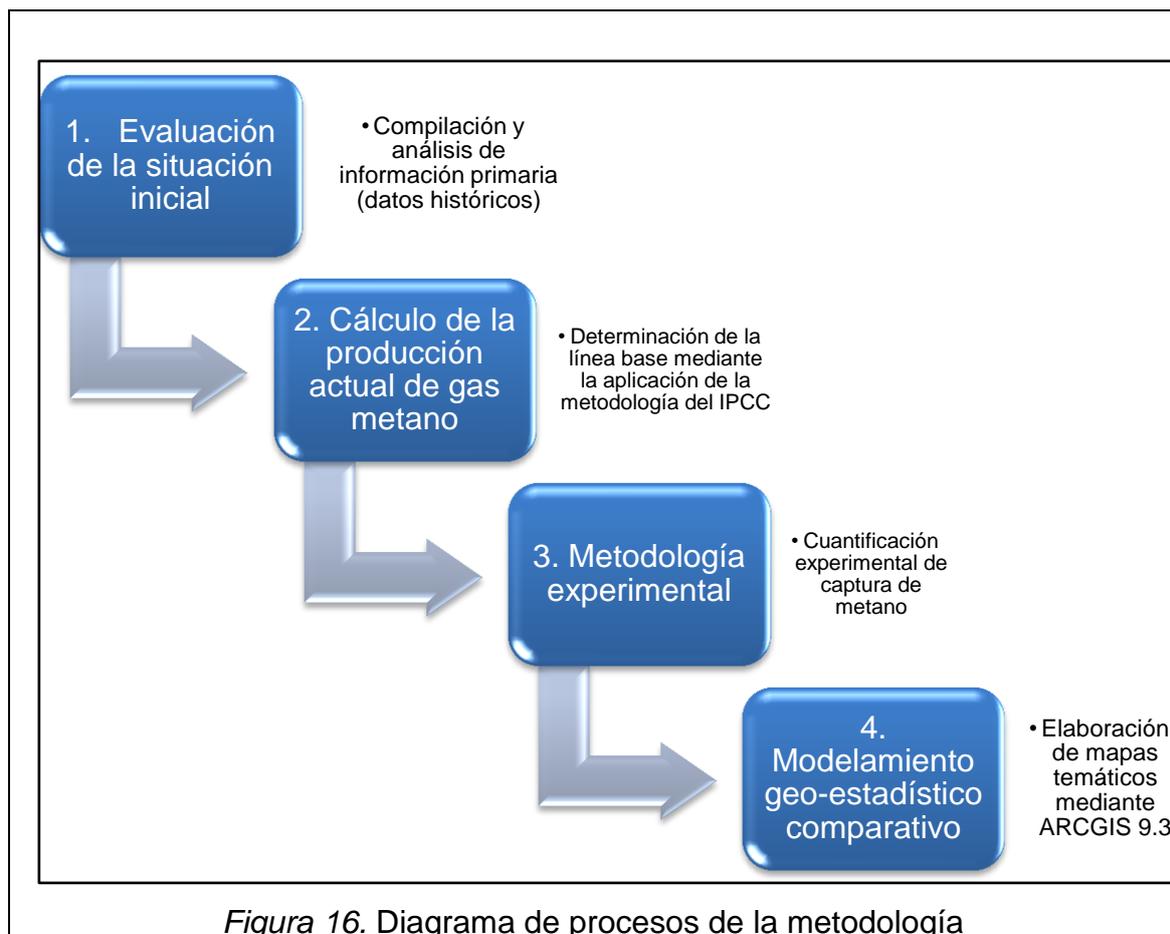
Mediante la metodología establecida por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), para la cuantificación de emisiones de gas metano proveniente del manejo de estiércol, se procedió a obtener un resultado estimado para realizar un mapeo geo-estadístico a nivel nacional de los resultados acerca la situación actual nacional de emisiones de gas metano.

Además, se aplicó el diseño experimental en un equipo bio-digestor a escala piloto donde se empleó la metodología experimental de intercambio volumétrico para cuantificar la captura del gas de efecto invernadero metano y proceder al diseño de la propuesta de aprovechamiento de los residuos para la mitigación al cambio climático, comparando los resultados obtenidos con la metodología del IPCC versus los resultados experimentales

Se realizó un modelamiento geo-estadístico de los resultados obtenidos de la situación actual y la situación proyectada, este mapeo incluirá los datos obtenidos en el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, los datos obtenidos producto de la fase experimental del proyecto y de la metodología IPCC, entre otros.

Finalmente, se realizó un análisis de Costo – Beneficio económico ambiental para los datos proyectados y la elaboración de la Propuesta de Mitigación al Cambio Climático según su factibilidad.

Se puede observar en la *Figura 16*, el diagrama de procesos referente a la metodología aplicada.



3.1 Cálculo de la producción de gas metano proveniente del estiércol mediante la metodología del IPCC

Se empleó la metodología establecida por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático para la estimación de la línea base referente a las emisiones de gas metano provenientes del manejo de estiércol de ganado en la región interandina del Ecuador, mediante la aplicación del método 1 (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 2006).

Según el método 1 utilizado (IPCC,2006), el cálculo de las emisiones de gas metano se obtiene a partir del producto del número de cabezas de ganado (según especies) por el factor de emisión (FE), el mismo que está definido en base a:

- Tipo de ganado,
- características regionales del manejo del estiércol y
- temperatura media anual de las diferentes regiones,

Ya que las emisiones de los diferentes sistemas de manejo de estiércol tienen una estrecha relación con la temperatura de la región (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 2006, p. 35)

La cantidad de cabezas de ganado por cada provincia de la región se extrajo de información proveniente del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador, según el Censo de Población Bovina realizado durante el año 2012.

Para el caso de estudio de la región interandina del Ecuador, se utilizó el factor de emisión (FE) designado para América Latina, debido a que la fase experimental se realizó en la ciudad de Quito, se relacionó, analizó y extrapoló los datos para la estimación de emisiones por provincias de esta región según las condiciones climáticas y por homogeneidad en las especies de ganado bovino y del manejo del estiércol.

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (2006), el rango de temperatura considerado para la región sierra, es de 10 a 25°C; por lo cual se tomó el valor 1 como FE constante en esta zona de estudio (IPCC, 2006, p. 35).

Tabla 7. Factor de emisión de metano proveniente del manejo de estiércol, según temperatura y especie de ganado (kg CH₄/cabeza*año)

Características regionales	Especies de Ganado	Factor de Emisión (EF) de CH ₄ según el promedio anual de temperatura (°C)																		
		Frío					Templado										Cálido			
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
América Latina: casi todo el estiércol de ganado se gestiona como sólidos en pastos y rangos.	Ganado de leche	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	Otro ganado (bovino)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tomado de, IPCC, 2006, p. 37

La fórmula empleada para el cálculo de las emisiones de metano provenientes del manejo del estiércol, se muestra a continuación en la Ecuación 1. Emisiones de metano del manejo del estiércol, según la metodología del IPCC (2006, pp.35) es:

$$CH_4_{Estiércol} = \sum_{(T)} \frac{(FE_{(T)} * N_{(T)})}{10^6}$$

Ecuación 1. Emisiones de metano del manejo del estiércol
Tomado de, IPCC, 2006, p. 37

Donde:

CH₄ Estiércol = CH₄ emisiones de metano provenientes del manejo de estiércol, para una población definida, Gg CH₄/año.

FE(T) = Factor de Emisión para una población de ganado definida, kg CH₄ / cabeza*año

N(T) = Número de cabezas de ganado según especie/categoría (T) en el país

T = especie/categoría de ganado

Los resultados se obtienen en Giga-gramos de metano por año (Gg CH₄/año)
(Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 2006, p. 35)

Finalmente, se realizó el cálculo de las emisiones en Toneladas de CO₂ equivalente, para lo cual se emplea la Ecuación 2.

$$BE = CH_{4a} * GWP_{CH_4}$$

Ecuación 2. Cálculo de emisiones en Ton CO_{2eq}/año

Tomado de IPCC, 2006

Donde:

$BE =$ Emisiones equivalente de dióxido de carbono en Ton/año

$CH_{4a} =$ Metano producido por tipo de animal (ton/año)

$GWPC_{H_4} =$ Potencial de calentamiento global de metano (21)

Este cálculo se realizó con la finalidad de obtener la cantidad de emisiones en la unidad determinada por el IPCC.

3.1.1 Determinación de las categorías de emisión a nivel provincial

En base a los resultados actuales de emisión obtenidos con la aplicación de la metodología del IPCC 2006, se recurrió a la categorización de emisiones de gas metano por provincia en cuatro rangos definidos según el método estadístico “Natural Breaks”. Este método estadístico es empleado para clasificar datos según las agrupaciones naturales inherentes de los valores. Los cortes de clase se agrupan según valores similares y maximizan las diferencias entre clases (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2011).

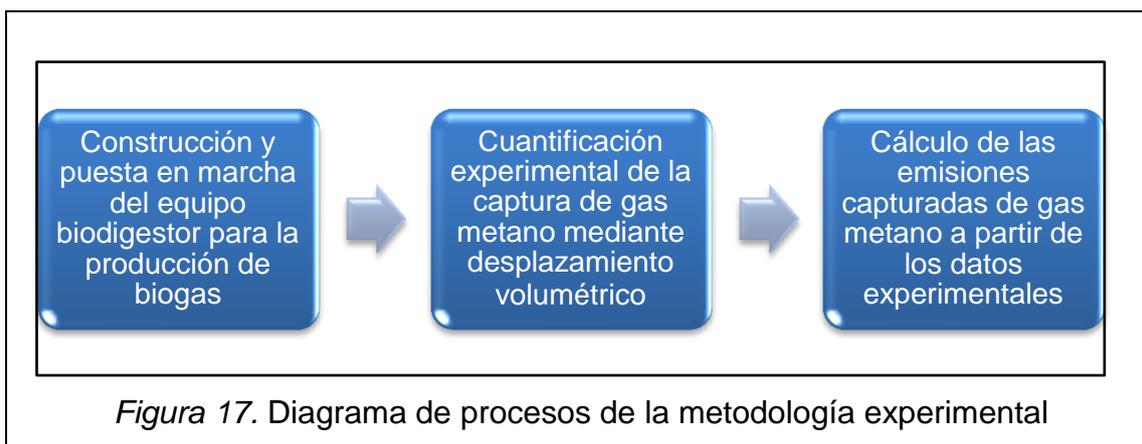
En este caso de estudio se establecieron las categorías de emisión Muy Bajo, Bajo, Medio y Alto de la siguiente manera:

Tabla 8. Categorías de emisión de metano (Ton CH₄/año)

CATEGORÍA	Ton CH ₄ /año	
MUY BAJO	95,632000	115,000000
BAJO	115,000001	174,000000
MEDIO	174,000001	243,000000
ALTO	243,000001	330,000000

3.2 Determinación experimental de la captura de gas metano mediante desplazamiento volumétrico

Se determinó el volumen de emisiones de gas metano capturado proveniente del estiércol mediante la producción del volumen de biogás (compuesto de gas metano y dióxido de carbono) obtenido en equipos de bio-digestión anaerobia y se cuantificó los datos durante un período de 154 días. El proceso realizado se explica en la *Figura 17*.



3.2.1 Diseño experimental

Esta fase experimental determinó las constantes y variables empleadas en la investigación con el afán de simular las condiciones usuales de manejo del estiércol en el equipo biodigestor tipo bidón de carga completa.

El diseño del experimento comprende la aplicación de dos tratamientos aleatorios.

Las constantes presentes en el experimento fueron:

- Carga única o completa
- Volumen de estiércol o materia orgánica animal (MOA): 10kg
- Temperatura (ambiente): 16,2 a 17,1°C (Junio a octubre) (INAMHI, 2013)
- Tiempo (intervalos de medición): cada 7 días
- Período de medición: 154 días
- Método de medición o cuantificación: Intercambio volumétrico

La variable considerada en el experimento refiere al emplear la materia orgánica vegetal, ya que una de las dos muestras no se le adicionó este tipo de materia:

- Muestra 1: Materia orgánica animal + materia orgánica vegetal (Estiércol + césped)
- Muestra 2: Materia orgánica animal (Estiércol)

Tabla 9. Definición de los tratamientos

TRATAMIENTO	
TIPO DE MUESTRA	ESPECIFICACIONES
M1 MOA + MOV	Definición: Muestra 1 Composición: Materia orgánica animal + materia orgánica vegetal (estiércol + césped)
	Relación peso/volumen: 1:2/5 (10kg estiércol : 4l agua) 1:1/3 (estiércol : césped)volumen
	Relación C/N: 35:1 (Carbono : Nitrógeno)
M2 MOA	Definición: Muestra 2 Composición: Materia orgánica animal (estiércol)
	Relación peso/volumen: 1:2/5 (10kg estiércol : 4l agua) 1:0 (estiércol : césped)volumen
	Relación C/N: 25:1 (Carbono : Nitrógeno)

Como se observa en la *Tabla 9*, los dos tratamientos están expuestos a las mismas condiciones físicas, pero se diferencian en su composición, ya que la muestra 1 contiene materia orgánica animal y vegetal y la muestra 2 únicamente contiene materia orgánica animal, lo cual trasciende en la relación C/N de cada tratamiento.

Se realizó la definición de tratamientos en base a bibliografía analizada previamente acerca de la optimización de biodigestores para alcanzar la mejor relación C/N posible de 35:1 (Proaño, 2011).

3.2.2 Construcción y puesta en marcha de los biodigestores para la producción de biogas

Se construyó dos equipos biodigestores piloto de 20l de capacidad y se los ubicó en el Laboratorio Ambiental de la Universidad de Las Américas – Sede Queri.

El modelo de los biodigestores corresponde a uno de tipo “Carga Completa”, es decir, que se realiza una sola carga de materia prima.

Fueron utilizados como parte de la metodología para la cuantificación y estimación experimental de captura de gas metano proveniente de la descomposición anaerobia del estiércol de ganado.

El diseño de los equipos a escala piloto se lo puede observar en la *Figura 18* y cumplen con las siguientes especificaciones:

- Tanque tipo bidón (capacidad: 20l)
- Cierre hermético (tapa con caucho y teflón)
- Válvula bola para gas (1/2")
- Válvula bola para efluente (1/2")
- Manguera gas/aire (5/16"; 250PSI)
- Neplos polipropileno (1/2")
- Abrazaderas de gas

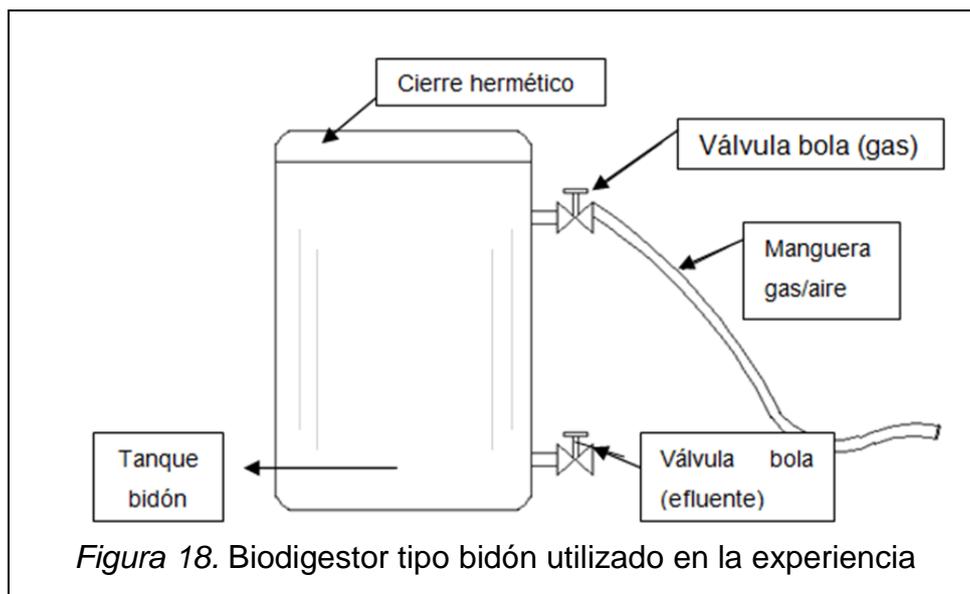
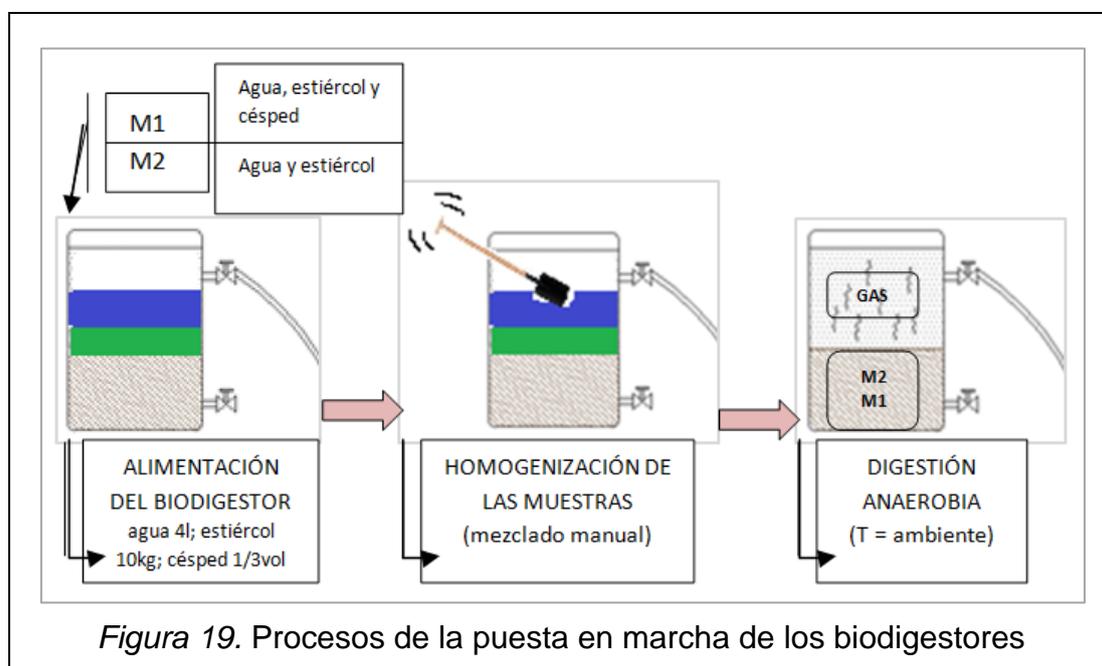


Figura 18. Biodigestor tipo bidón utilizado en la experiencia

La puesta en marcha de los digestores, se la realizó en la ciudad de Quito a condiciones de temperatura ambiente. Se registró un promedio de 16,2°C a 17,1°C en los meses de junio a octubre de 2013 cuando se llevó a cabo la fase experimental (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2013)

A continuación se describe en la *Figura 19* los procesos realizados durante esta fase:

- Se colocó la muestra definida para cada digestor según las especificaciones de composición y peso descritas en la Tabla 9. Definición de los tratamientos. (Ver *Figura 19*).
- Se realizó la homogenización manual de la muestra mediante agitación para favorecer la dilución y la degradación de la materia dispuesta en el digestor (Ver *Figura 19*).
- Las muestras se dejaron a temperatura ambiente y posteriormente se procedió realizar la toma de datos del gas metano capturado (Ver *Figura 19*).



A continuación, en el inciso 3.2.3.2 se explica el proceso de la cuantificación experimental del biogás (CH_4) partiendo del proceso de digestión anaerobia representado en el diagrama de flujo en la (Figura 19).

3.2.3 Cuantificación experimental de la captura de metano mediante la prueba de quemado y desplazamiento volumétrico

3.2.3.1 Determinación de la calidad de gas metano mediante la prueba de quemado

Se realizó la prueba de quemado del gas, la cual determina la calidad del biogás (ver Tabla 4. Composición química del biogás) obtenido del proceso de biodigestión anaerobia y la cantidad de gas metano presente mediante la coloración de la flama (Proaño, 2011).

La prueba de quemado consiste en efectuar la combustión del biogás, de esta manera, el color de la llama nos indicará la cantidad de metano que posee el biogás según su composición y su calidad (Proaño, 2011). Ver Tabla 10. Ponderación de la calidad del biogás.

Tabla 10. Ponderación de la calidad del biogás

COLOR DE LA FLAMA	CALIDAD DEL BIOGAS	PORCENTAJE DE CH_4	PONDERACIÓN	TIPO DE COMBUSTIÓN
Azul	Buena	60 – 70	1	Completa
Amarillo – anaranjado	Mala	< 60	0	Incompleta

Tomado de, Proaño, 2011

Se determinó el número 1 como indicativo del gas de buena calidad si la flama es de color azul, es decir, que la cantidad de metano que contiene se encuentra dentro del porcentaje ideal; y el número 0 si la flama es de color anaranjado, lo que representa una combustión incompleta del gas (Proaño, 2011, p. 60). Ver Tabla 10. Ponderación de la calidad del biogás.

3.2.3.2 Desplazamiento volumétrico de la producción del biogas

Se realizó la cuantificación del gas metano empleando el método de desplazamiento volumétrico y se calculó en base a la proporción existente de gas metano en la composición del gas natural o biogás (Ver Tabla 10. Ponderación de la calidad del biogas) resultante del proceso de descomposición anaerobia del estiércol del ganado bovino (Rodríguez, et al., 2008).

En la *Figura 20* se describe los pasos realizados durante esta fase:

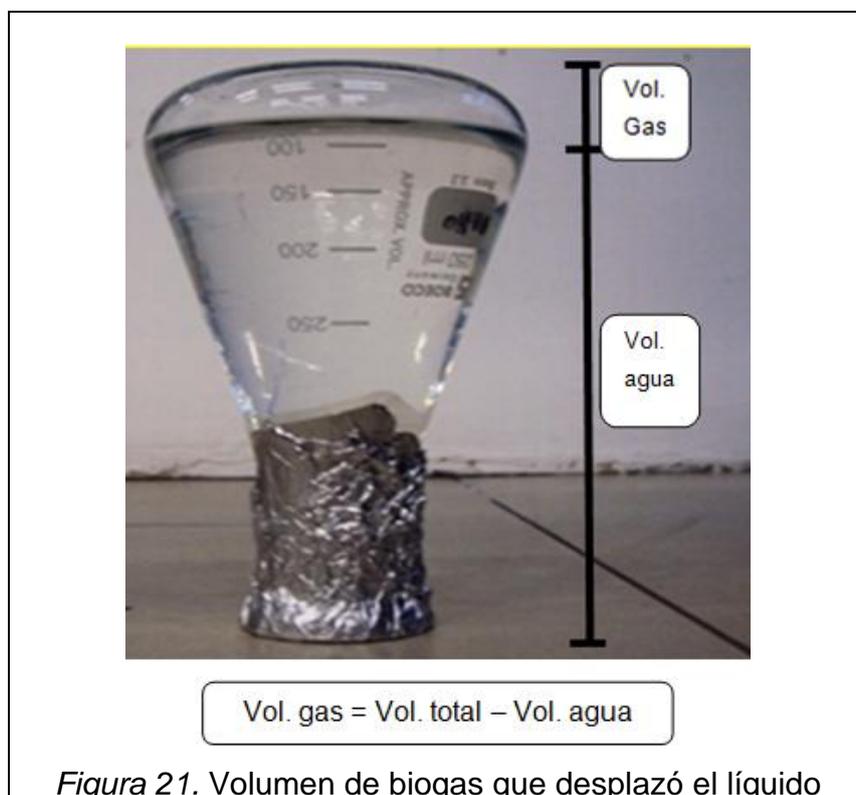
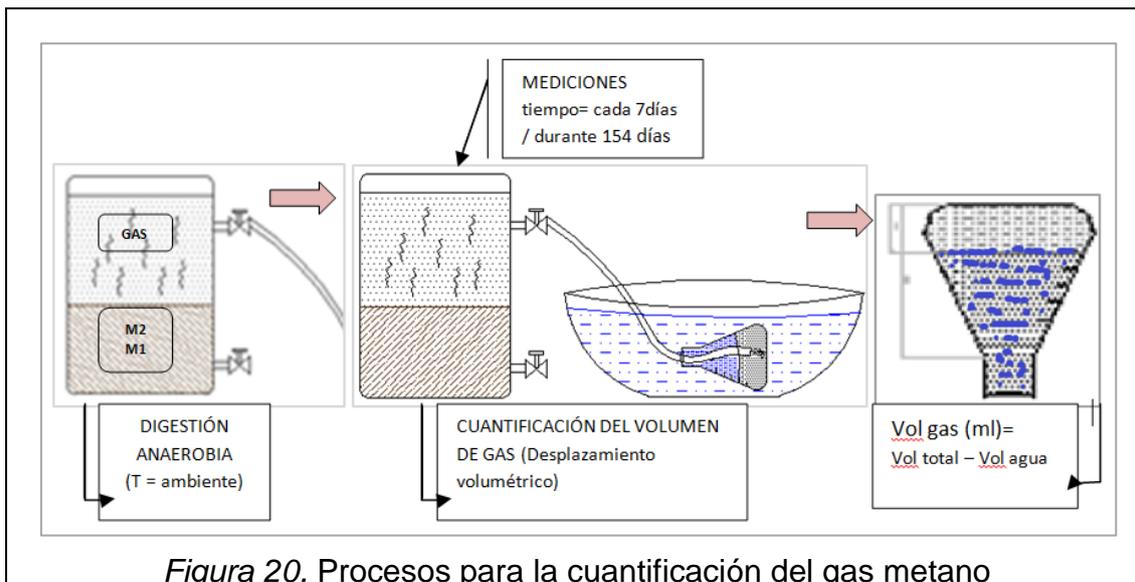
Con las muestras a temperatura ambiente, se procedió a realizar mediciones del volumen de gas en intervalos de 7 días durante un período de 154 días. Ver *Figura 20*.

La cuantificación del volumen de gas se realizó mediante el método de desplazamiento volumétrico, que consiste en la medición volumétrica del desplazamiento de un fluido (agua) colocada en un recipiente, por el ingreso de un determinado volumen de otro fluido (gas) al mismo recipiente (Rodríguez, et al., 2008) Ver *Figura 20*.

El procedimiento para la medición del gas es el siguiente:

- Se introdujo la manguera para salida de gas dentro del Matraz Erlenmeyer, el mismo que debe estar lleno de agua y evitando la presencia de aire dentro del mismo.
- Se abrió la válvula de gas de cada equipo digestor.
- Se procedió a tomar la medida del biogás resultante del volumen de líquido desplazado del matraz.

Se tomaron datos cada 7 días, durante 154 días del volumen de gas obtenido, mediante la diferencia del volumen total del recipiente menos el volumen restante de agua en el matraz. Ver *Figura 20* y *Figura 21*



A continuación, en la *Tabla 11* se encuentra descrito el procedimiento que se siguió a lo largo del período de cuantificación experimental, el cual se lo realizó durante 154 días.

Tabla 11. Resumen de actividades de la puesta en marcha y mediciones de biogás

DÍA	ACTIVIDAD REALIZADA
28-may-13	1. Se realizó el pesaje de la materia prima inicial (estiércol). 2. Se definieron cantidades de carga y dilución de la materia orgánica animal (estiércol), proporciones de materia orgánica vegetal (césped) y agua que se adicionaron para obtener las muestra 1 y 2 (M1 y M2). Ver Tabla 9. Definición de los tratamientos
04-jun-13	DÍA 7: En base a experiencias experimentales anteriores, se demostró que en el día 7 no existe aún producción de biogas, por lo tanto, se optó por no realizar mediciones este día con las muestras M1 y M2, es preferible esperar a que la producción bacteriana prolifere, ya que se encuentra aún en fase de latencia. Se realizó un control sobre el estado de los biodigestores, donde no se presencié ningún tipo de fuga de gas.
11-jun-13 / 29-oct-13	DÍA 14 a DÍA 154 Se realizó la medición y cuantificación de gas en intervalos de tiempo de 7 días en cada uno de los biodigestores de M1 y M2.

3.2.4 Cálculo de las emisiones capturadas de gas metano a nivel regional mediante aplicación de los datos experimentales

Una vez que se llevó a cabo el proceso mencionado anteriormente, se puede obtener la cantidad de biogás generada y estimar a partir de este, la cantidad de gas metano que se captura al emplear la técnica de la biodigestión anaerobia.

1. En base a la Tabla 10. Ponderación de la calidad del biogas se obtuvo el porcentaje estimado de gas metano contenido en el biogás.
2. Se calculó el Factor de captura experimental de emisiones de metano (FCe CH₄), mismo que se obtuvo en base a la *Ecuación 1* del IPCC, realizando las transformaciones de unidades requeridas para obtener la cantidad de gas metano en unidades de peso, lo cual es necesario para comparar posteriormente los resultados obtenidos experimentalmente con los resultados de la línea base. Con este factor se estimó la cantidad de emisiones de metano capturadas en Toneladas de metano.

3. Se estimó la cantidad de emisiones posibles de reducción mediante la aplicación del $FCe(CH_4)$ y se logró calcular la cantidad aproximada de emisiones de gas metano capturadas, en base a la metodología del IPCC. Se obtuvo la siguiente ecuación:

$$R_{CH_4} = \frac{N * FCe_{CH_4}}{1000}$$

Ecuación 3. Cálculo de reducción de emisiones de metano (Ton CH_4 /año)
Tomado de IPCC, 2006, p.37

Donde:

$$R_{CH_4} = \text{Reducción de emisiones de metano} \left(\text{Ton} \frac{CH_4}{\text{año}} \right)$$

N = Número de cabezas de ganado

FCe_{CH_4} = Factor de captura experimental (kg CH_4 $\frac{\text{capturados}}{\text{año}}$ por cabeza de ganado)

4. Para el cálculo de la Mitigación de emisiones de metano totales calculadas (CH_{4m}), se empleó la siguiente ecuación:

$$CH_{4\text{mitigación}} = CH_{4\text{estiércol}} - R_{CH_4}$$

Ecuación 4. Mitigación calculada de emisiones de metano provenientes del estiércol
Tomado de IPCC, 2006, p. 37

Donde:

$$CH_{4\text{mitigación}} =$$

Mitigación de emisiones de metano totales calculadas $\left(\text{Ton} \frac{CH_4}{\text{año}} \right)$

$$CH_{4\text{estiércol}} =$$

CH_4 emisiones de metano provenientes del manejo de estiércol, para una población definida.

$$R_{CH_4} = \text{Reducción de emisiones de metano} \left(\text{Ton} \frac{CH_4}{\text{año}} \right)$$

5. Finalmente se realizó el cálculo de las emisiones en Toneladas de CO_2 equivalente, para lo cual se emplea Ecuación 2. Cálculo de emisiones en Ton CO_2eq /año

3.3 Modelación geo-estadística de mitigación a cambio climático

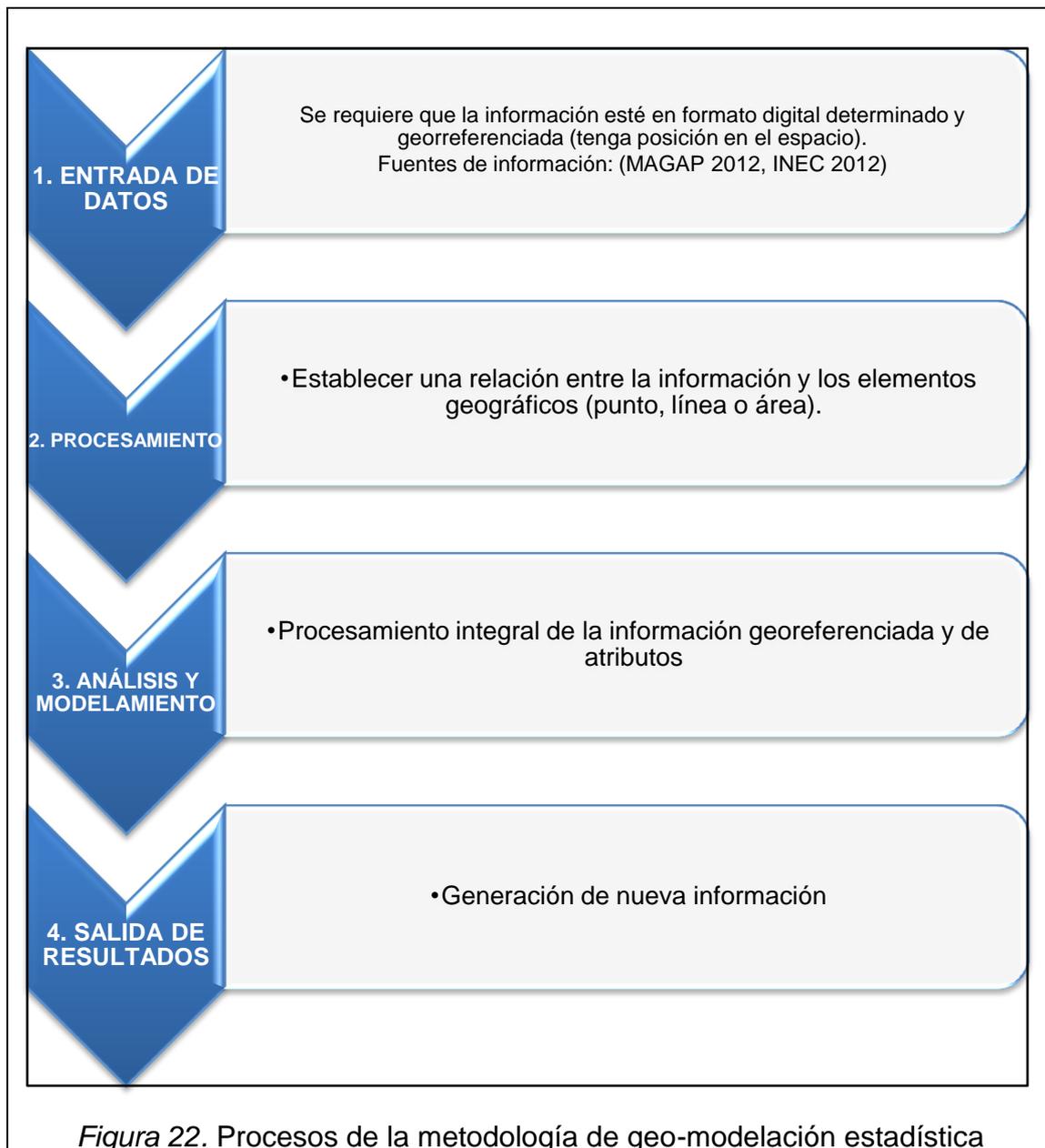
Se recurrió a la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica mediante el uso de la herramienta – software ARCGIS versión 9.3 para la elaboración de mapas temáticos.

Los mapas temáticos son un escenario de salida, donde el diseño del mapa es un proceso de toma de decisiones y actividades, enfocadas a comunicar información definida mediante una representación geográfica, haciendo el uso de un sistema gráfico de comunicación (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2011, p. 42)

ARCGIS 9.3 es una herramienta que admite la integración de datos espaciales provenientes de diferentes orígenes y permite analizar, procesar, modelar y visualizar los datos mediante una gama de herramientas que se ajustan a cada uno de los intereses que pueden surgir en las diferentes áreas de estudio. (Arciniegas, 2007, p. 2)

La funcionalidad de un SIG (Sistema de Información Geográfica), ha sido diseñada para la recolección, almacenamiento y análisis de objetos y fenómenos donde una característica fundamental para el análisis es la localización geográfica. (Arciniegas, 2007, p. 2)

La aplicación del software de ARGIS 9.3, se lo realizó tomando en cuenta los siguientes procesos:



3.3.1 Extrapolación geo-referenciada de los datos experimentales al nivel de la región interandina

La elaboración de los mapas temáticos, se la realizó utilizando los datos de las provincias de la región Interandina ecuatoriana, debido a que la localidad en la que se realizó la fase experimental, y de la cual se obtienen los resultados de captura de gas metano, fue ejecutada en Quito – Pichincha, para lo cual se consideró variables climáticas de la zona.

Es importante también recalcar que la metodología del IPCC empleada para el cálculo de las emisiones totales de gas metano, toma en consideración las variables climáticas, motivo por el cual el Factor de Emisión ha sido considerado en base a condiciones de América Latina. Por lo tanto la zona de estudio se centró a la Región Interandina ecuatoriana.

En concordancia con los procesos descritos en la *Figura 22*, se procedió a la recopilación de información, depuración de la información y posteriormente a la elaboración de los Mapas Temáticos del proyecto, los mismos que se realizaron a nivel provincial en la región Interandina, considerando estas referencia como la unidad geográfica mayores de las cuales se obtienen los datos.

Como podemos observar en la *Figura 23*, se tiene una combinación de capas de la División Política Administrativo del Ecuador a nivel parroquial y provincial, obtenidas del Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2012.

Al obtener estas capas ubicadas espacialmente en el Sistema de Coordenadas WGS_1984_UTM_Zone_17S, conseguimos también la información de los datos y atributos de nuestro mapa conocidos como “Geodata” (Ver *Figura 24*) de aquí seleccionamos los datos requeridos para la elaboración de la modelación.

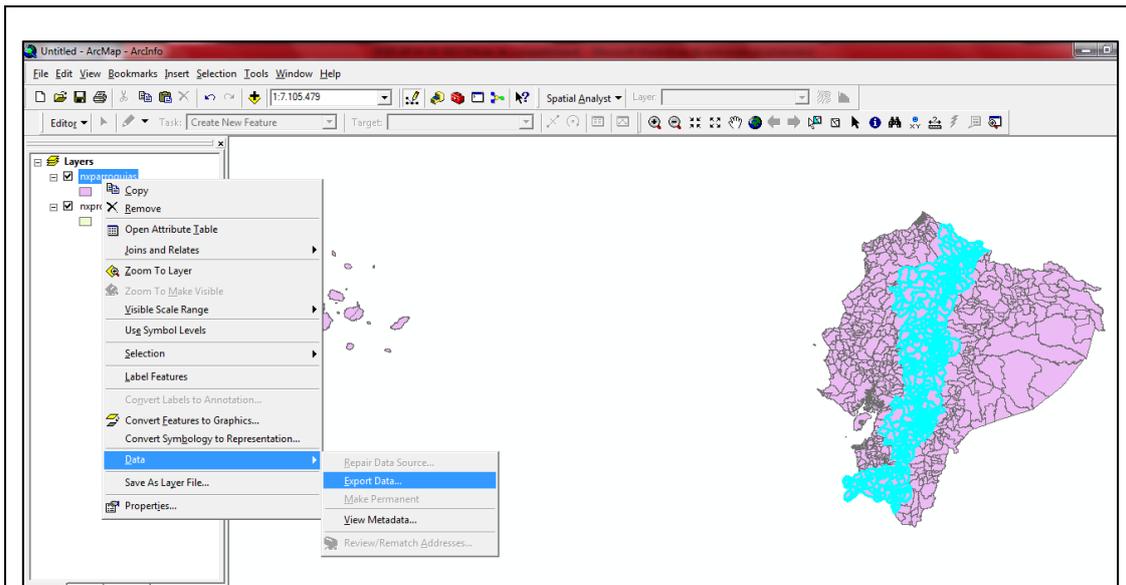


Figura 25. Definición de la capa de análisis para el proyecto

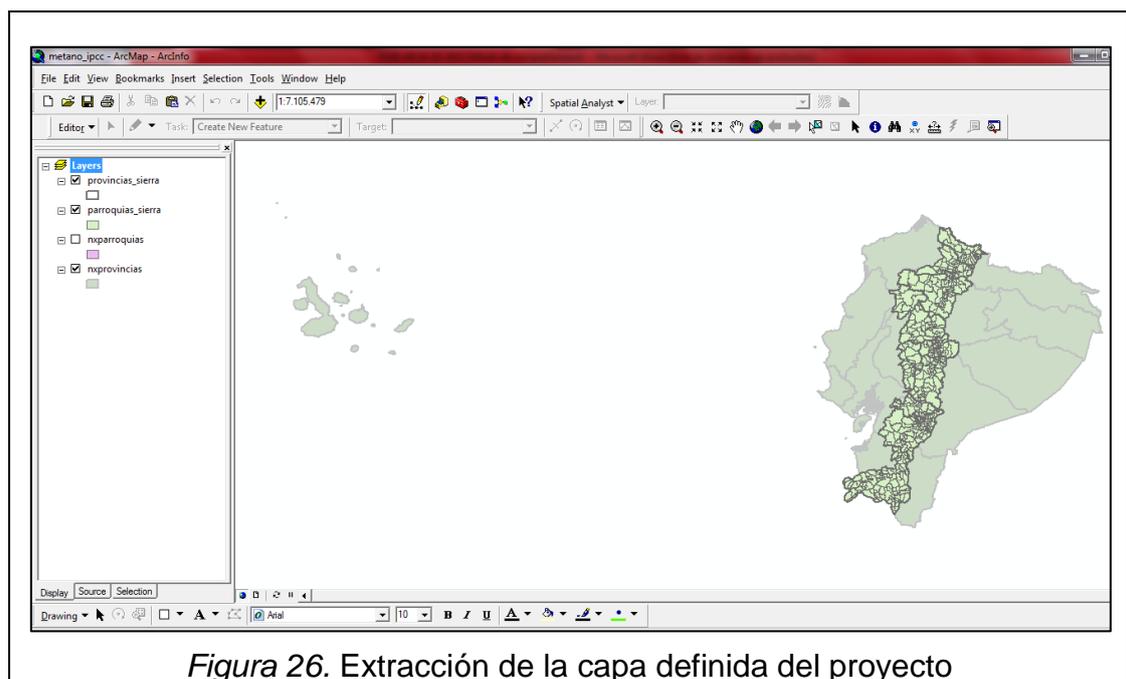


Figura 26. Extracción de la capa definida del proyecto

Para importar los datos que tenemos en tablas como lo son los datos del censo de ganado de 2012 de Ecuador y los datos calculados de las emisiones, se selecciona el archivo de Excel deseado, en la pantalla "Add Data" como puede observarse en la Figura 27. De esta manera se importará el archivo de datos al proyecto en ArcMap.

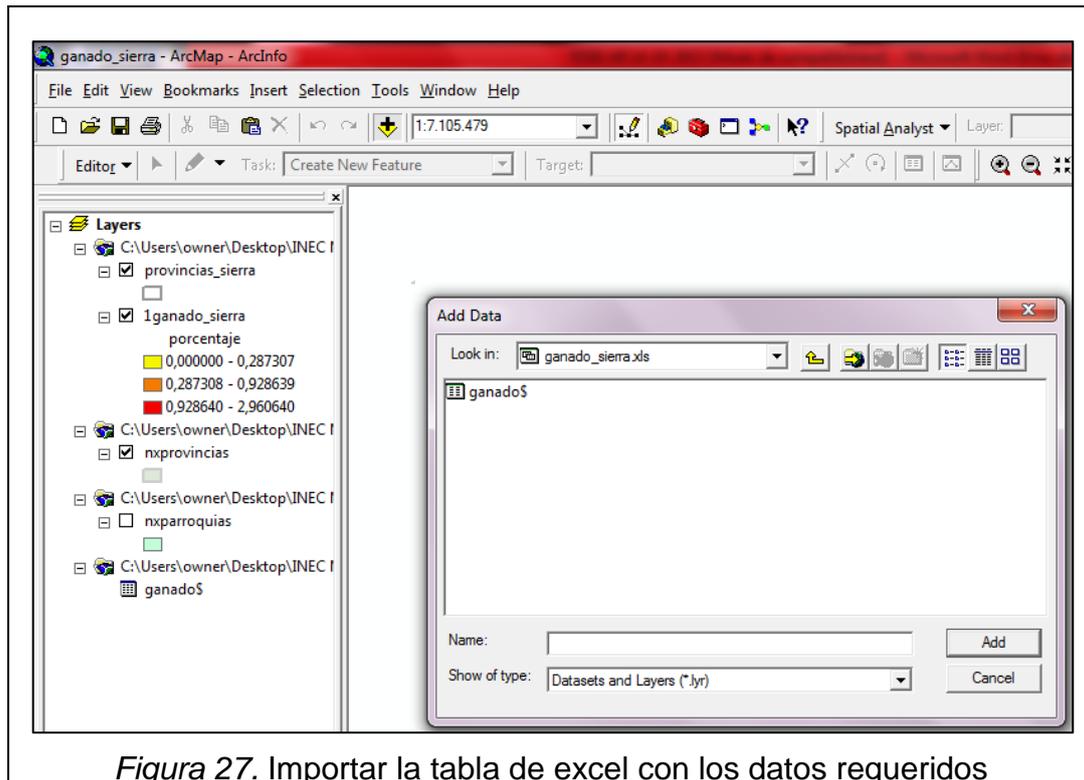


Figura 27. Importar la tabla de excel con los datos requeridos

Una vez importados los datos de Excel al proyecto en ArcMap, es necesario espacializarlos, es decir darles una ubicación en el espacio geográfico disponible, para esto, con click derecho en la capa espacial donde queremos ubicar los datos, seleccionamos el botón “Join” como podemos verlo en la Figura 28.

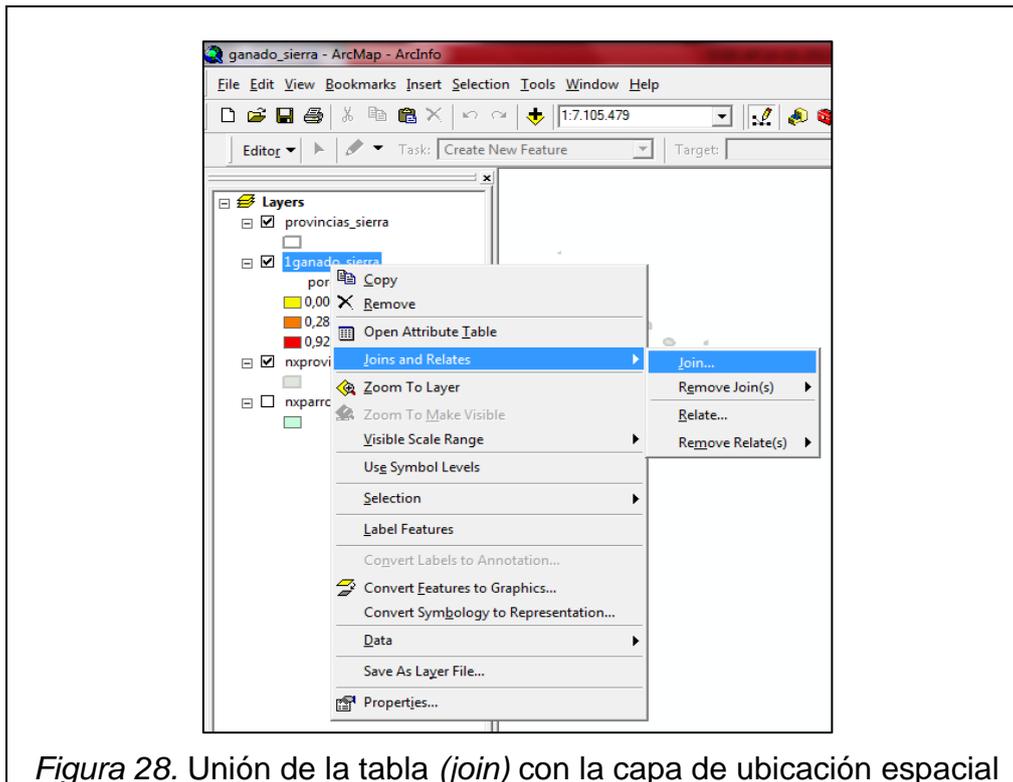


Figura 28. Unión de la tabla (*join*) con la capa de ubicación espacial

Realizamos el “Join” o la unión de tablas según un atributo en común entre la tabla de la *Geodata* y la tabla que importamos del archivo de Excel. En este caso el atributo común es la unidad geográfica provincial (ver *Figura 29*).

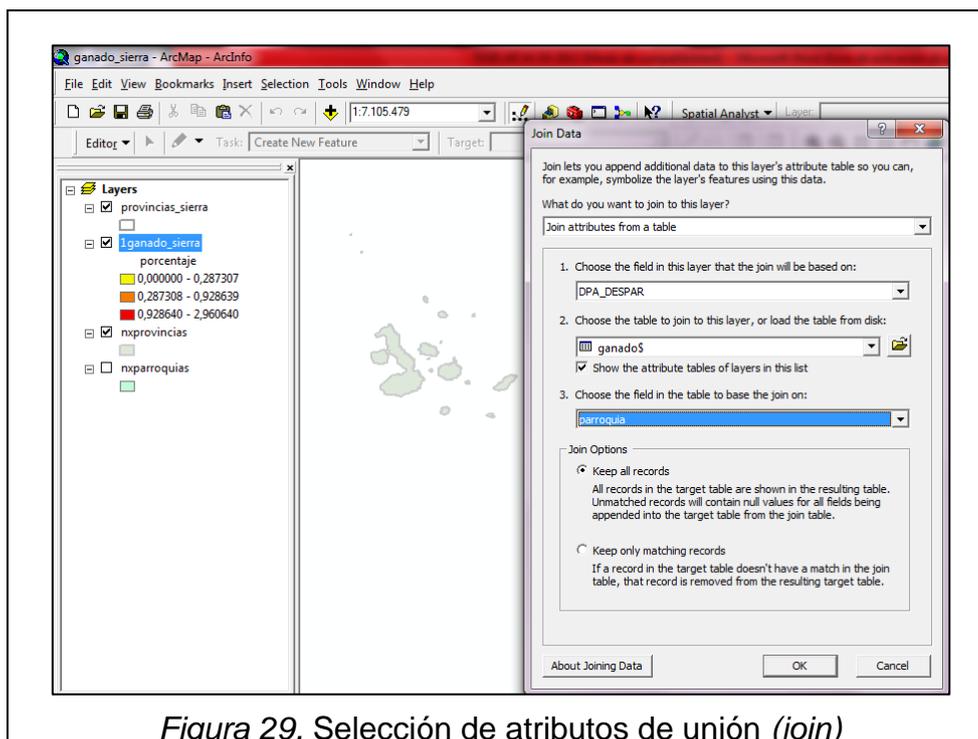


Figura 29. Selección de atributos de unión (*join*)

Una vez que tenemos espacializados los datos requeridos para la ejecución del proyecto, se procedió a realizar la visualización de los elementos geográficos según los atributos requeridos.

Al dar click derecho sobre la capa que contiene los datos espacializados de las tablas de Excel, seleccionamos el botón “Propiedades”, en la ventana que se despliega escogemos la ceja “Symbology”. Ver Figura 30.

En este caso, se realizó un modelo de “Visualización por *Quantities* (Cantidades)”, ya que queremos apreciar en rangos definidos según las cantidades de ganado y emisiones de metano en relación al ganado según la investigación del proyecto. Ver Figura 30

Elegimos el modo de visualización “*Graduated Colors*” y en la ventana de “*Value*” indicar el atributo que se desea visualizar, en este caso será la cantidad de población de ganado y posteriormente las cantidades de emisiones de gas metano. Ver Figura 30.

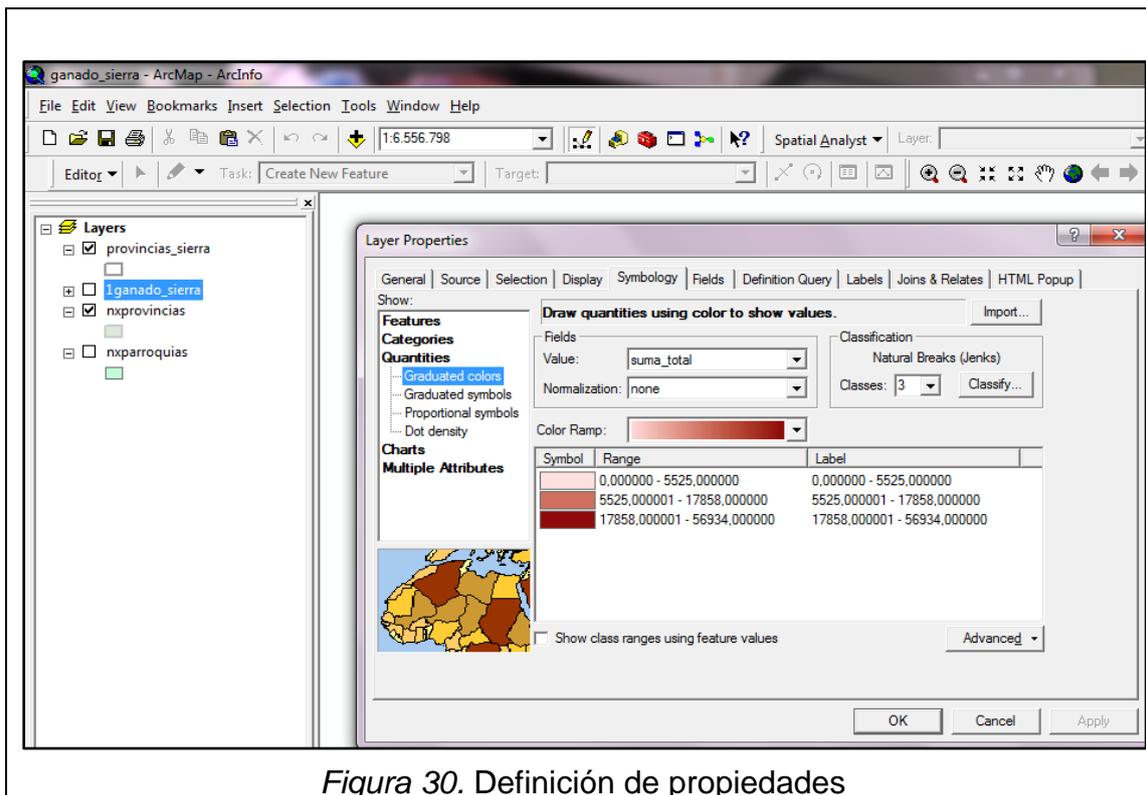


Figura 30. Definición de propiedades

En la opción “Classify” de la ventana “Symbology” en la Figura 30, se procede a seleccionar el Método Estadístico adecuado para la clasificación en clases o en grupos de valores de la serie de datos estadísticos para su representación gráfica o cartográfica según el análisis que se va realizar.

En cartografía los métodos más usados para clasificar los datos son: Puntos Naturales de Quiebre o Jenks, Cuantiles, Intervalos Iguales, Desviación Estándar, promedios sucesivos, proyección aritmética entre otros.

En este caso se eligió el método de “Natural Breaks (Jenks)”, es un método estadístico empleado para clasificar datos en el cual la construcción de clases se basa en las agrupaciones naturales inherentes de los valores. Los cortes de clase se agrupan según valores similares y maximizan las diferencias entre clases cuyos límites se configuran cuando hay grandes saltos en los valores de los datos. Es adecuado cuando los datos aparecen agrupados en torno a ciertos valores y existen cortes claros en el histograma (DANE, 2011, p. 43). Ver Figura 31.

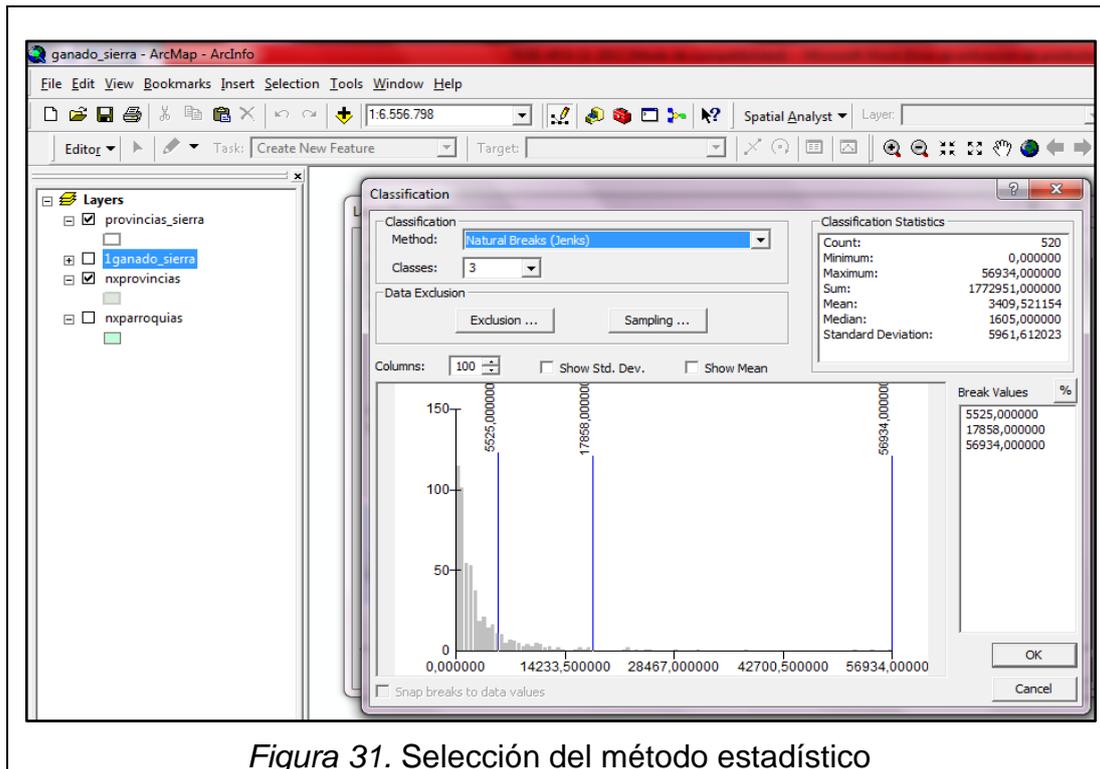


Figura 31. Selección del método estadístico

Finalmente, tras realizar el respectivo análisis y procesamiento de la información y los datos, siguiendo los procedimientos correspondientes, se tiene como resultado el planteamiento de un escenario cuyas variables han sido consideradas al momento de realizar la representación gráfica, obteniendo como resultado la obtención de los Mapas Temáticos (ver Figura 32).

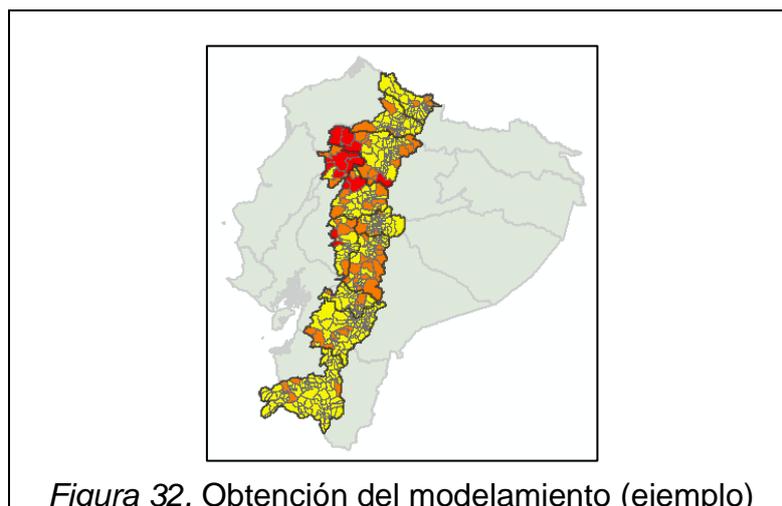


Figura 32. Obtención del modelamiento (ejemplo)

4. Resultados

4.1 Estimación estadística de la producción de gas metano mediante la metodología del IPCC para manejo de estiércol

Se realizaron los cálculos de las emisiones de gas metano proveniente del manejo del estiércol, aplicando la metodología empleada por el IPCC utilizando la Ecuación 1. Emisiones de metano del manejo del estiércol, los cálculos realizados para cada una de las provincias son el producto del factor de emisión (FE) por el número total de cabezas de ganado.

Los resultados de las emisiones actuales de gas metano estimadas a nivel provincial se enuncian en Toneladas de metano y Toneladas de CO_{2eq} en la *Tabla 12*.

Tabla 12. Cálculo emisiones CH₄ provincial proveniente del manejo del estiércol

Emisión de metano por provincia				
PROVINCIA	# Cabezas Ganado	Factor emisión	Ton CH ₄	Ton CO _{2eq} /año
Azuay	174033	1	174,03	3654,63
Bolivar	156543	1	156,54	3287,34
Cañar	115338	1	115,34	2422,14
Carchi	112135	1	112,14	2354,94
Chimborazo	198227	1	198,23	4162,83
Cotopaxi	211207	1	211,21	4435,41
Imbabura	95632	1	95,63	2008,23
Loja	172915	1	172,92	3631,32
Pichincha	329418	1	329,42	6917,82
Santo Domingo de los Tsáchilas	243525	1	243,53	5114,13
Tungurahua	114057	1	114,06	2395,26
TOTAL	1923030	1	1923,03	40383,63

4.1.1 Categorización de las emisiones de gas metano a nivel provincial de la Región Interandina

Las emisiones de gas metano fueron consideradas por categorías de emisión establecidas según el método estadístico “*Natural Breaks*”, el mismo que ayuda a distinguir las clases acentuando las diferencias inherentes entre los datos.

A continuación se indica las provincias según la clasificación determinada por categoría de emisión:

Tabla 13. Clasificación de provincias según categorías de emisión (Ton CH₄/año)

CATEGORÍA	Ton CH ₄ /año		PROVINCIAS
MUY BAJO	95,632000	115,000000	Carchi, Imbabura y Tungurahua
BAJO	115,00001	174,000000	Bolívar, Cañar, Loja
MEDIO	174,000001	243,000000	Azuay, Chimborazo y Cotopaxi
ALTO	243,000001	330,000000	Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas

4.2 Cuantificación experimental de la captura de gas metano

4.2.1 Gas metano capturado por cada tratamiento en función del tiempo

Los resultados mensuales obtenidos por cada uno de los dos tratamientos se expresan en la *Figura 33*.

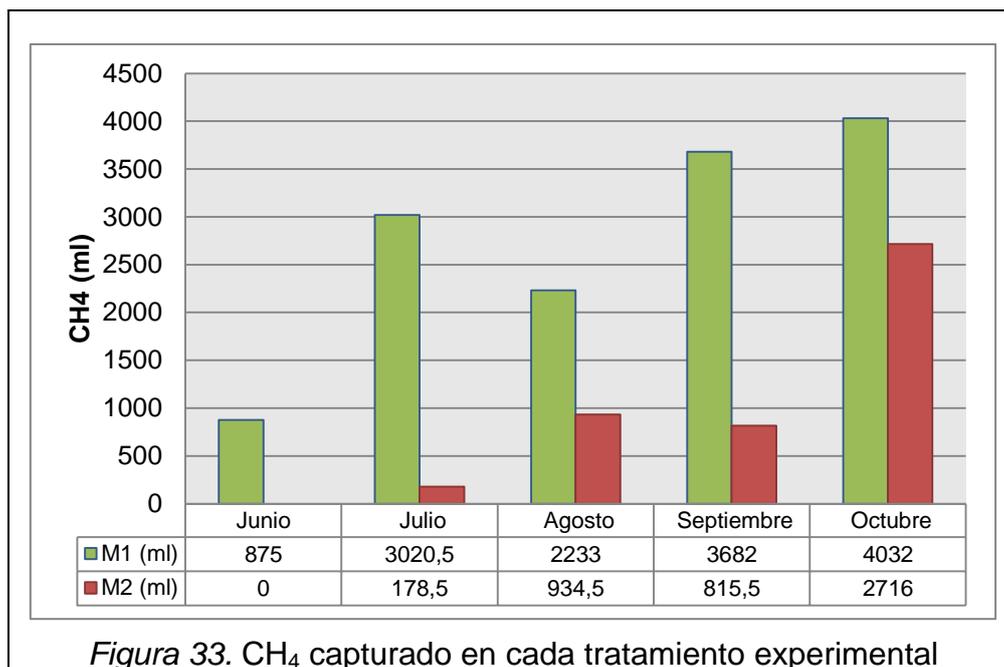


Figura 33. CH₄ capturado en cada tratamiento experimental

4.2.2 Prototipo del equipo de digestión anaerobia

El equipo de digestores anaerobios empleado para la cuantificación experimental del gas y sus respectivos tratamientos se muestra en la *Figura 34*.

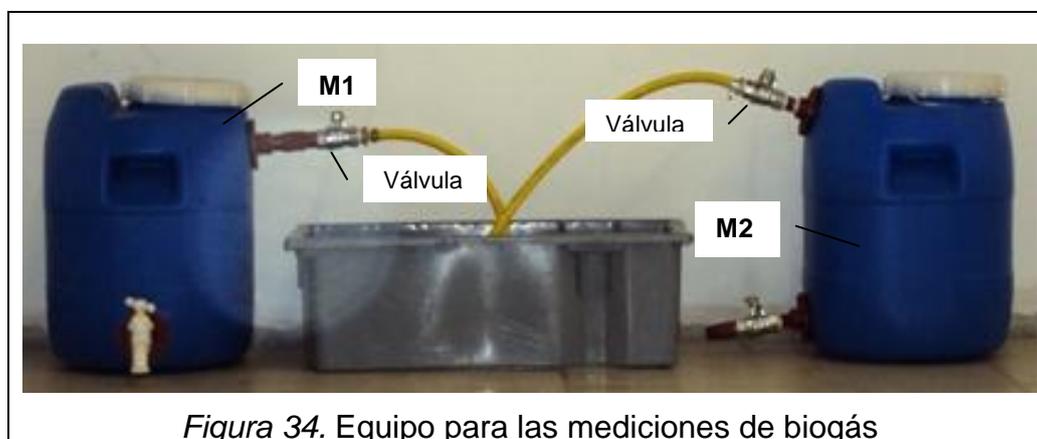


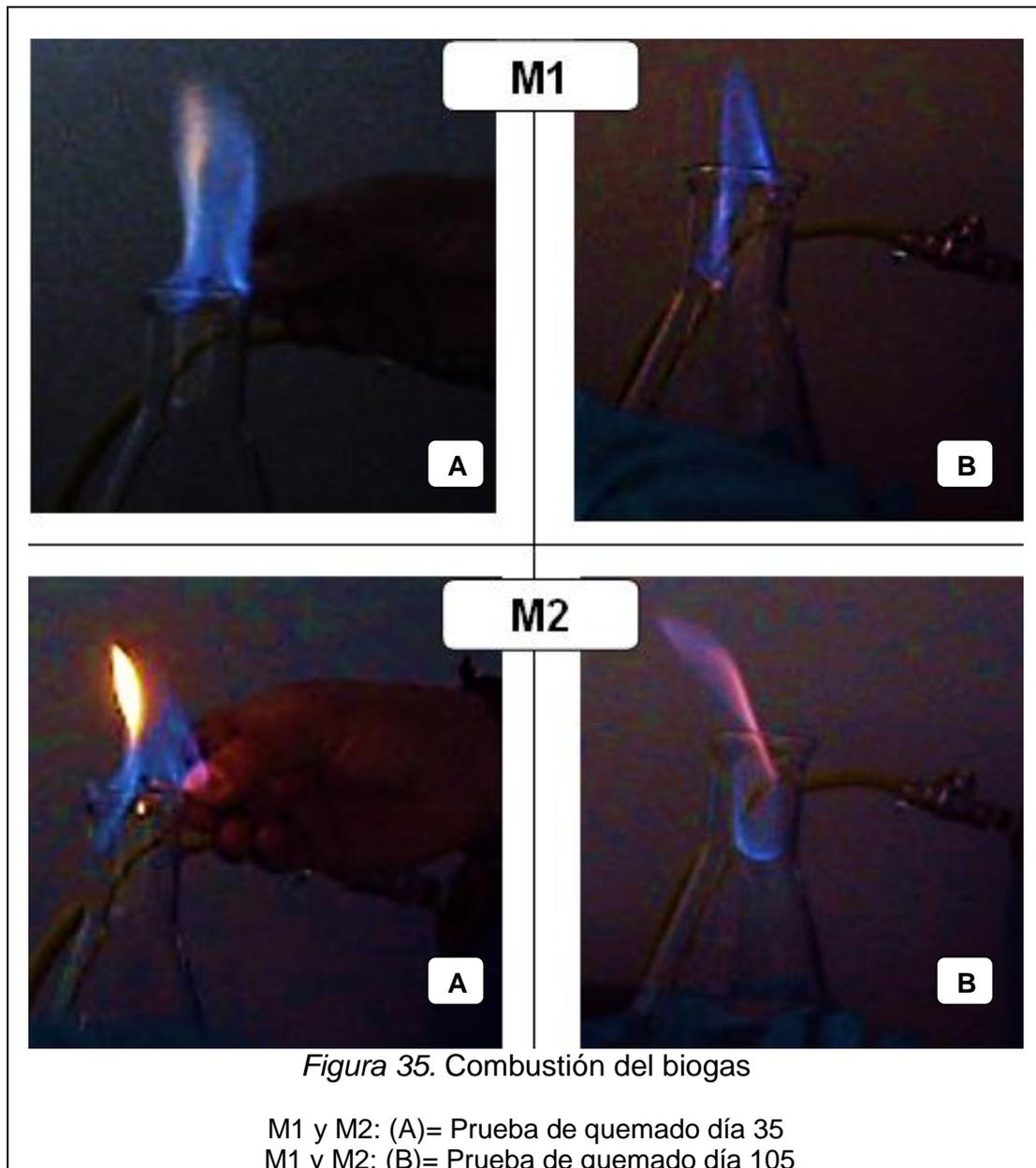
Figura 34. Equipo para las mediciones de biogás

4.2.3 Determinación de la captura de gas metano

En esta sección se muestra los resultados obtenidos experimentalmente al emplear el método del desplazamiento volumétrico correlacionados con la prueba de quemado, misma que determinó la calidad del biogás para estimar la cantidad de gas metano capturado.

4.2.3.1 Determinación de la calidad del gas mediante la prueba de quemado

Se realizó la prueba de quemado al biogás producido y se puede apreciar en la *Figura 35* el color azul de la flama obtenido en la experiencia.



4.2.3.2 Obtención de datos experimentales de metano mediante el desplazamiento volumétrico

A partir del proceso mencionado en el capítulo III, en el inciso 3.2.3.2, se obtuvo los resultados de gas metano mediante desplazamiento volumétrico de los dos tratamientos, los resultados se expresan a continuación en la *Tabla 14*.

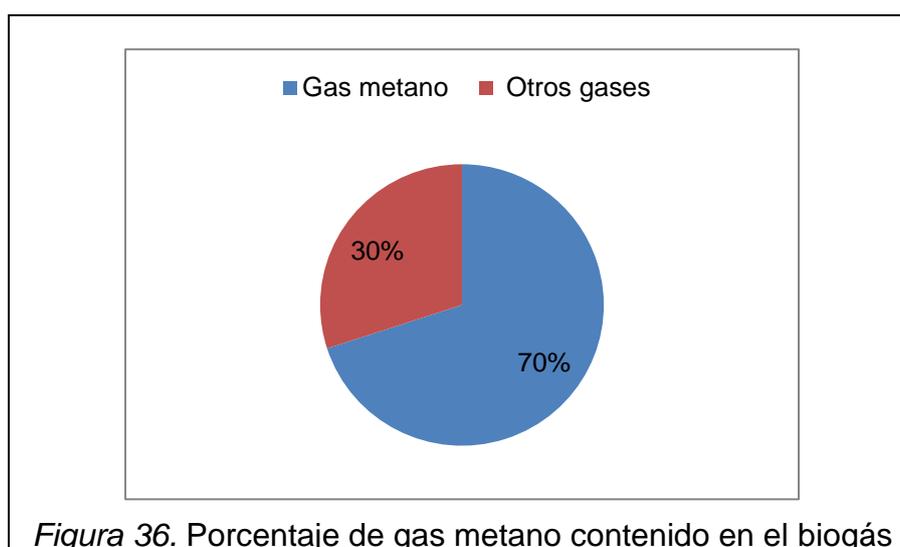
Tabla 14. Captura experimental de metano

CAPTURA DE METANO EN EL TIEMPO POR CADA 10 KG DE ESTIÉRCOL			
Período	Medición / día No.	CH4 (ml/10kg)	
		M1	M2
28 mayo /2013	---	Puesta en marcha equipo	
4 – 25 junio/2013	7	0	0
	14	245	0
	21	315	0
	28	315	0
TOTAL JUNIO		875	0
2 – 30 julio/2013	35	490	0
	42	560	0
	49	665	0
	56	658	0
	63	647,5	178,5
TOTAL JULIO		3020,5	178,5
6 – 27 agosto/2013	70	511	129,5
	77	553	203
	84	525	273
	91	644	329
TOTAL AGOSTO		2233	934,5
3 – 24 sept/2013	98	672	133
	105	644	140
	112	1281	262,5
	119	1085	280
TOTAL SEPTIEMBRE		3682	815,5
1 – 29 octubre/2013	126	910	364
	133	910	434
	140	840	448
	147	693	630
	154	679	840
TOTAL OCTUBRE		4032	2716
SUMA TOTAL CH4		13842,5	4644,5

El cálculo realizado a partir de 10kg de estiércol corresponde al 15% de generación de estiércol/día de una cabeza de ganado, y la captura de metano con esta muestra durante 154 días fue de: M1 = 13,84L y M2 = 4,64L.

4.2.4 Extrapolación de las emisiones capturadas de gas metano a nivel regional aplicando los datos obtenidos experimentalmente

1. La relación de la totalidad del biogás y la captura de gas metano se calculó como 1:0,7 respectivamente (*Figura 36*) según el resultado de la prueba cualitativa de biogás realizada y en base a referencias bibliográficas, que indican este es el valor de metano contenido en biogás de estiércol animal.



2. Para el cálculo del Factor de Captura experimental de emisiones (FCe = 0,29 kg CH₄), se utilizó los valores de captura de emisiones conseguidos mediante la metodología del desplazamiento volumétrico (Tabla 14. Captura experimental de metano).

Se proyectó el resultado para la obtención del factor de captura anual y se realizó transformaciones de unidades acorde lo requerido para comparar con la metodología aplicada del IPCC, empleando ($d_{CH_4} = 0,68\text{kg/m}^3$) (www.encyclopedia.airliquide.com, s.f.).

Tabla 15. Factor de Captura de emisiones/cabeza de ganado (kg CH₄)

	FCe (kg CH ₄) / cabeza de ganado	
	4 meses	12 meses
1 cabeza de ganado	0,01	0,029

3. Empleando la Ecuación 3. Cálculo de reducción de emisiones de metano (Ton CH₄/año), modificada de la Ecuación 1 de la metodología del IPCC, se realizaron los cálculos de reducción de las emisiones anuales en las provincias de la región interandina aplicando el Factor de Captura de emisiones (FCe) obtenido anteriormente y el producto con el total de cabezas de ganado.

Tabla 16. Cálculo de Reducción de emisiones de CH₄ capturadas

Ton CH ₄ /año capturadas				
No.	Provincia	# cabezas de Ganado	Reducción emisiones (4 meses)	Reducción emisiones (12 meses)
1	Azuay	174033	1,69	5,06
2	Bolivar	156543	1,52	4,55
3	Cañar	115338	1,12	3,35
4	Carchi	112135	1,09	3,26
5	Chimborazo	198227	1,92	5,76
6	Cotopaxi	211207	2,05	6,14
7	Imbabura	95632	0,93	2,78
8	Loja	172915	1,68	5,03
9	Pichincha	329418	3,19	9,58
10	Santo Domingo de los Tsáchilas	243525	2,36	7,08
11	Tungurahua	114057	1,11	3,32
	TOTAL	1923030	18,63	55,90

4. Se obtuvieron los resultados de mitigación de emisiones totales por provincia, calculadas mediante la Ecuación 4. Mitigación calculada de emisiones de metano provenientes del estiércol. En la *Tabla 17* se indica el resultado de la mitigación de emisiones de metano totales, el mismo que representa la diferencia de las emisiones actuales con la cantidad de emisiones capturadas (reducción) en caso de implementar una acción de mitigación de gas metano mediante la gestión del manejo del estiércol de ganado bovino.

Tabla 17. Diferencia de emisiones actuales y reducción de emisiones

Emisión actual de metano por provincia				Cálculo de mitigación de CH ₄	
No.	PROVINCIA	# Cabezas de Ganado	Ton CH ₄	Reducción de emisiones (12 meses)	Mitigación Ton CH ₄ /año
1	Azuay	174033	174,03	5,06	168,97
2	Bolivar	156543	156,54	4,55	151,99
3	Cañar	115338	115,34	3,35	111,99
4	Carchi	112135	112,14	3,26	108,88
5	Chimborazo	198227	198,23	5,76	192,46
6	Cotopaxi	211207	211,21	6,14	205,07
7	Imbabura	95632	95,63	2,78	92,85
8	Loja	172915	172,92	5,03	167,89
9	Pichincha	329418	329,42	9,58	319,84
10	Santo domingo de los Tsáchilas	243525	243,53	7,08	236,45
11	Tungurahua	114057	114,06	3,32	110,74
TOTAL		1923030	1923,03	55,90	1867,13
Ton CO ₂ eq			40383,63	1173,92	39209,71

5. Finalmente, se calculó el resultado de las emisiones capturadas en relación a las Toneladas de CO₂ equivalente, se empleó la *Ecuación 2*. Los resultados los observamos en la *Tabla 18*.

Tabla 18. Emisiones de metano capturadas en Ton CO_{2eq}/año

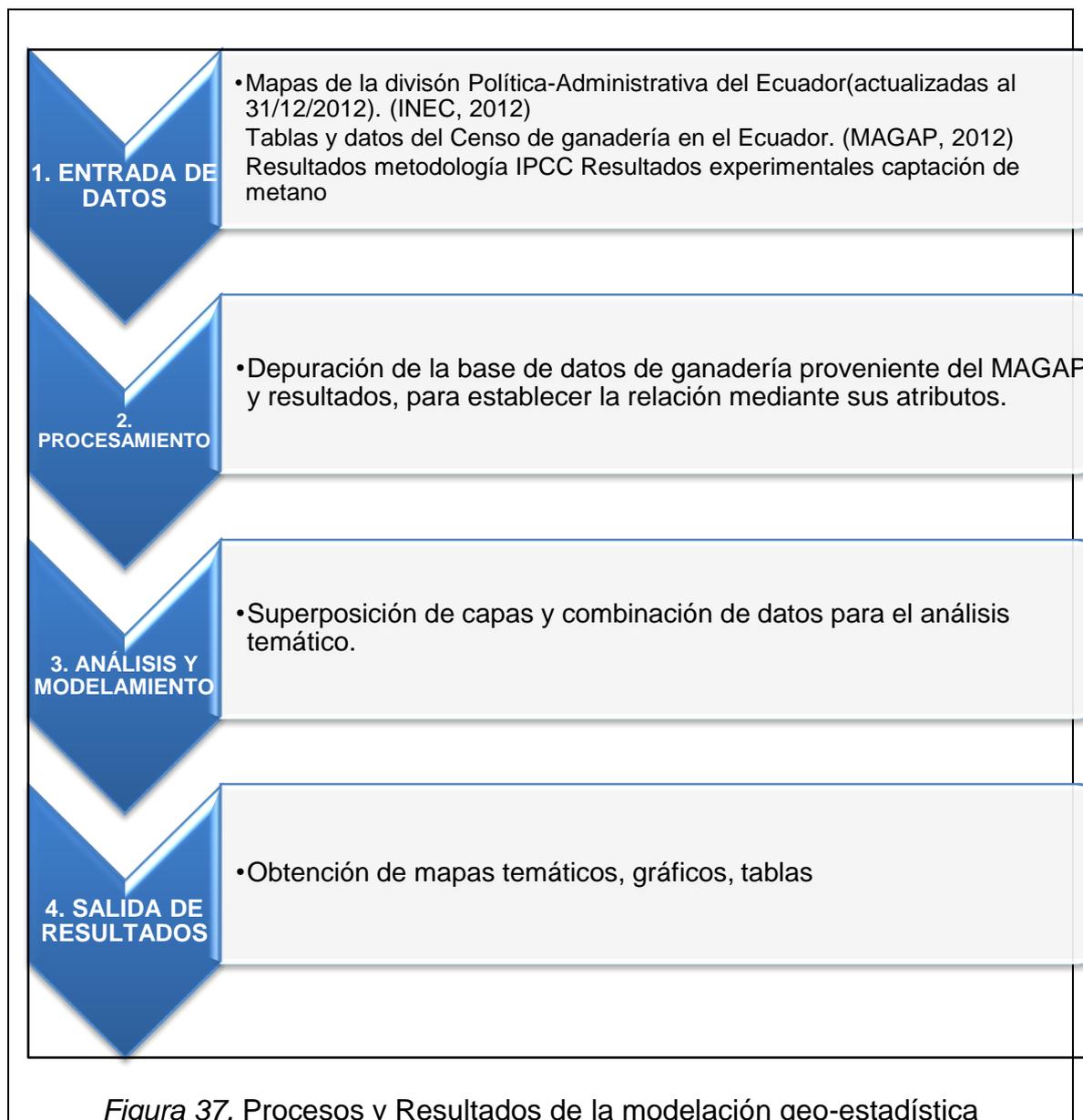
No.	Provincia	Ton CH ₄ /año capturadas		Ton CO _{2eq} capturadas
		# cabezas de Ganado	12 meses	12 meses
1	Azuay	174033	5,06	106,26
2	Bolivar	156543	4,55	95,55
3	Cañar	115338	3,35	70,35
4	Carchi	112135	3,26	68,46
5	Chimborazo	198227	5,76	120,96
6	Cotopaxi	211207	6,14	128,94
7	Imbabura	95632	2,78	58,38
8	Loja	172915	5,03	105,63
9	Pichincha	329418	9,58	201,18
10	Santo Domingo de los Tsáchilas	243525	7,08	148,68
11	Tungurahua	114057	3,32	69,72
TOTAL		1923030	55,9	1173,9

4.3 Modelación geo-estadística de mitigación al cambio climático

La modelación geo-estadística de mitigación al Cambio Climático, se la realizó en base a la metodología descrita en el Capítulo III, en la cual se detalla el uso de los Sistemas de Información Geográfica para la generación de mapas temáticos por medio de la aplicación de la herramienta – software ARCGIS versión 9.3.

4.3.1 Modelación geo-estadística de la región interandina

En la *Figura 37* se detalla los principales procedimientos, información y elementos empleados para el desarrollo del proceso, para llegar finalmente al resultado y la obtención de los mapas temáticos.



Los productos generados se describen a continuación:

- Geo-modelación estadística de las existencias de ganado. (Censo MAGAP, 2012)
- Geo-modelación estadística de las emisiones actuales de gas metano en el sector pecuario.

- Geo-modelación estadística de la reducción de emisiones de gas metano mediante el aprovechamiento de los residuos (excretas) de ganado

Cada uno de los resultados observados en los mapas temáticos, se explican a detalle en el Capítulo V. Análisis de Resultados.

4.3.2 Geo modelación regional de existencias de ganado

Se realizó un mapa temático referente a las existencias de cabezas de ganado a lo largo de la región interandina del Ecuador, para su elaboración se empleó la información proveniente del INEC 2012, referente a la División Político-Administrativa del Ecuador continental y se empleó también la base de datos de existencias de ganado del Censo 2012 del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Los resultados obtenidos se observan en la *Figura 38*.

4.3.3 Geo modelación emisión actual regional CH₄ – Metodología IPCC

El mapa temático de la emisión de gas metano actual a nivel de la región Interandina proveniente del manejo del estiércol, refleja los resultados de emisión obtenidos mediante el cálculo realizado, aplicando la Metodología del IPCC para este caso particular en la región.

En la *Figura 39*, se plantea el escenario de línea base que refleja la situación actual de emisión de gas metano, en ausencia de un programa de mitigación al Cambio Climático.

4.3.4 Geo modelación de captura y mitigación de emisiones de metano mediante el aprovechamiento del estiércol de ganado

Para la modelación de la captura de emisiones de gas metano, se incluyó resultados de la línea base y resultados experimentales del cálculo de la mitigación mediante el aprovechamiento del estiércol de ganado bovino en la región Interandina.

El escenario de mitigación que se plantea se observa en la *Figura 40*.

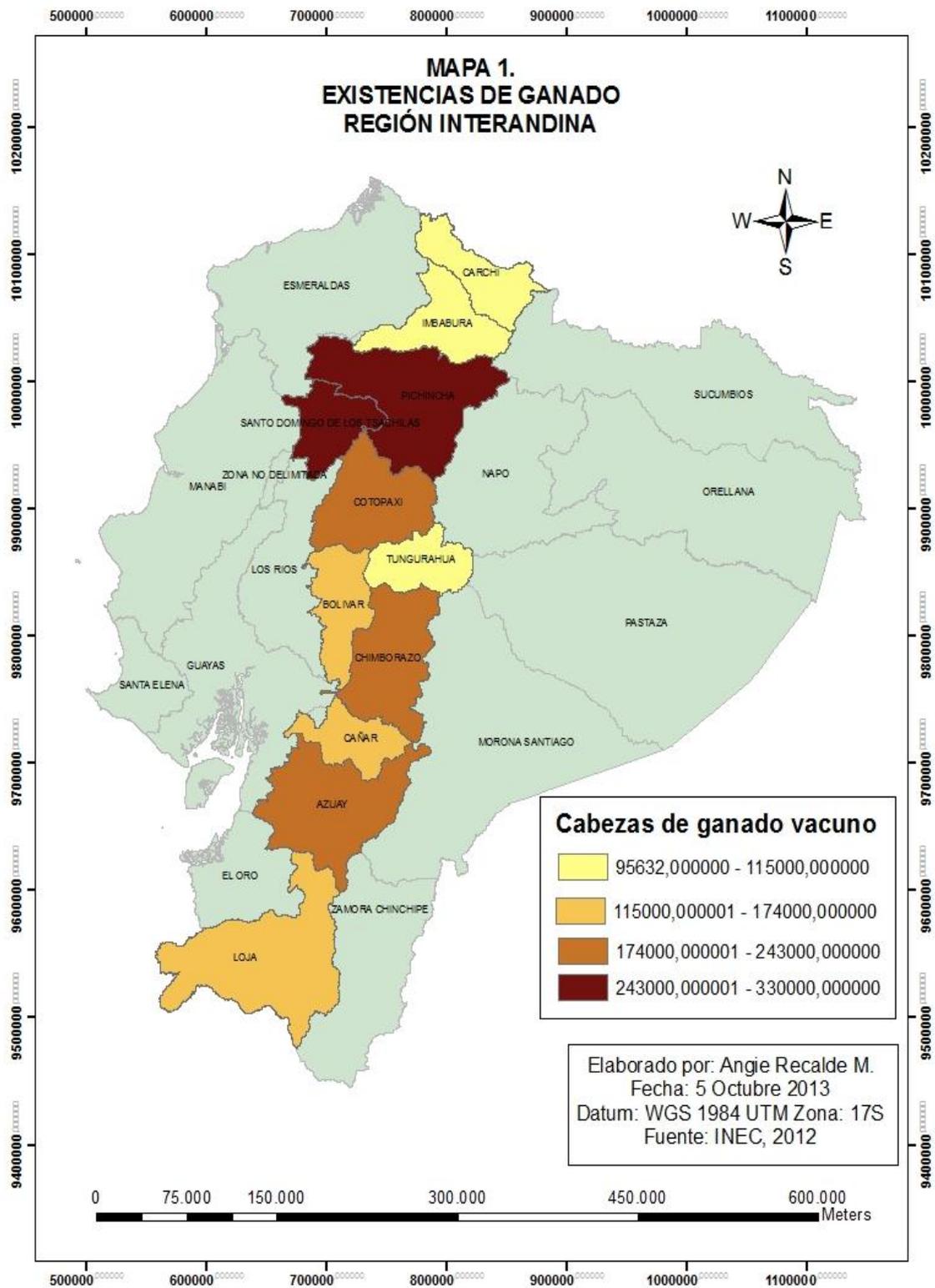


Figura 38. Mapa de existencias de Ganado en la Región Interandina

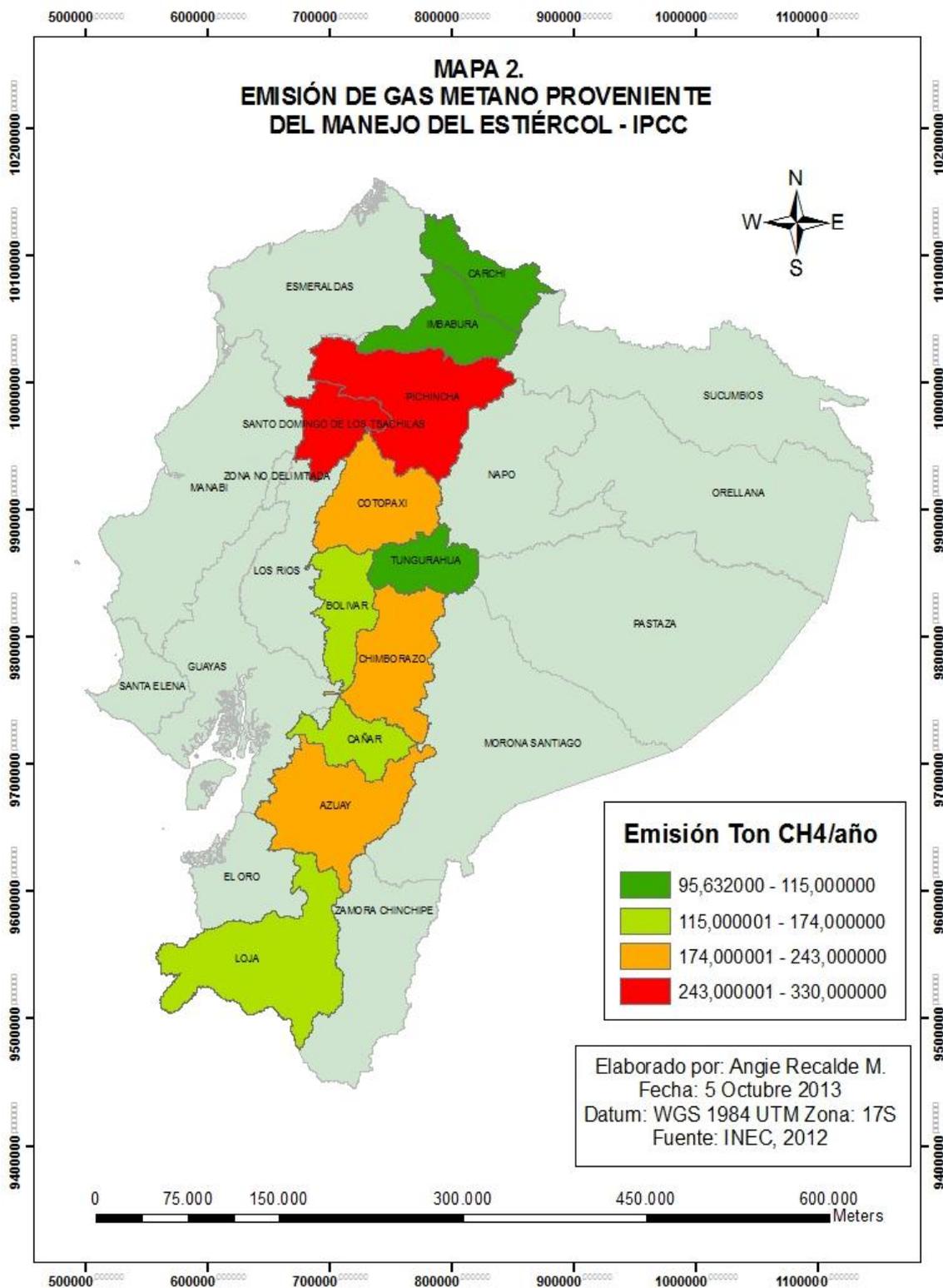


Figura 39. Mapa de emisión de Gas Metano proveniente del Manejo del Estiércol – IPCC

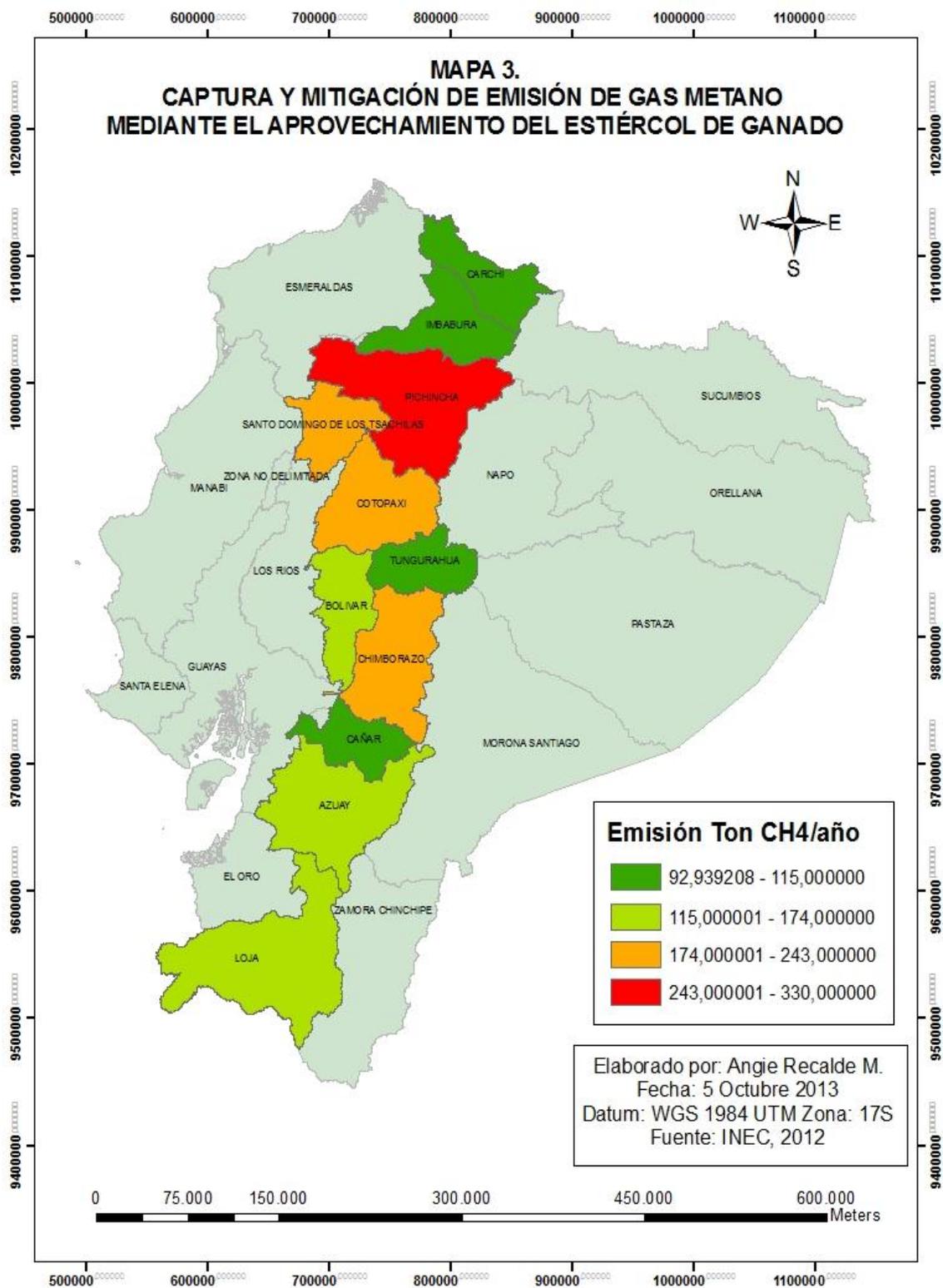


Figura 40. Mapa captura y mitigación de Emisión de Gas metano mediante el Aprovechamiento del Estiércol de Ganado

5. Análisis de Resultados

5.1 Porcentajes de emisión actual de metano calculado en la región interandina mediante la metodología del IPCC

Según información estadística proporcionada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, en el Censo de Población Bovina realizado el año 2012, las provincias que poseen mayor cantidad de cabezas de ganado bovino son Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas, seguidas de las provincias de Cotopaxi, Chimborazo y Azuay (MAGAP, 2012). Mientras que las provincias con menor concentración de ganado son Bolívar, Cañar, Loja, Tungurahua y las dos provincias que se encuentran situadas más al Norte de la región, Imbabura y Carchi (MAGAP, 2012). Es importante considerar que las emisiones de GEI emitidas por el ganado y en este caso por el manejo del estiércol de ganado, se encuentran en una relación proporcional acorde a la cantidad de ganado existente en un área determinada (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 2006).

En concordancia a la afirmación anterior, podemos observar en la *Figura 41* que, según los resultados obtenidos empleando la metodología del IPCC para la estimación de gas metano proveniente del manejo del estiércol, las emisiones a nivel provincial sí se encuentran en una relación proporcional con las existencias de ganado propias de cada región.

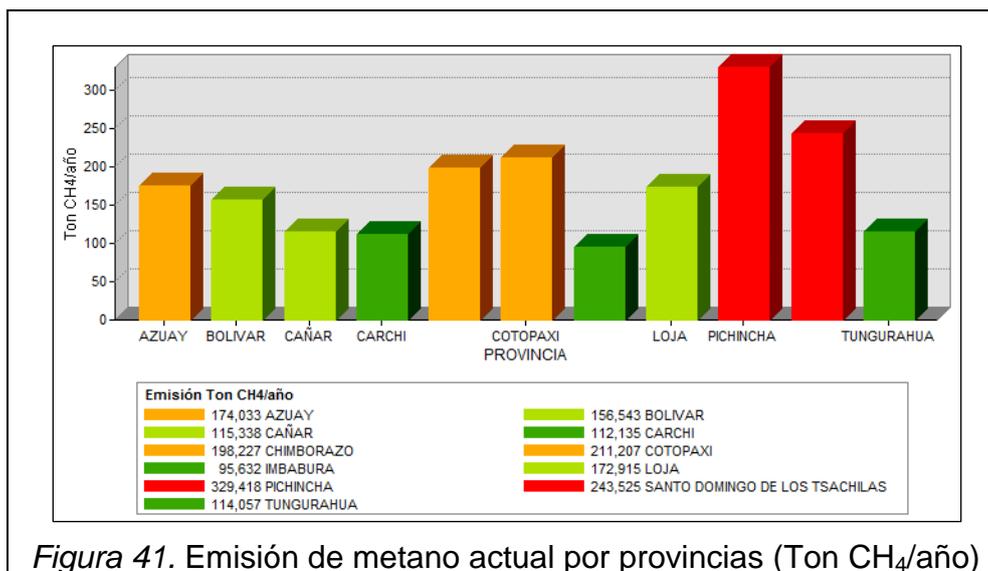


Figura 41. Emisión de metano actual por provincias (Ton CH₄/año)

5.1.1 Categorías de emisión de gas metano en la región interandina

Se calculó un total de 1923,03 Ton CH₄, que equivalen a 40 383,63 Ton CO_{2eq} emitidas anualmente a lo largo de la región Interandina, provenientes del manejo del estiércol de ganado. Se debe tomar en consideración que para este proyecto de investigación, se estimaron las emisiones de metano provenientes únicamente del manejo de estiércol de ganado vacuno.

El 16,74% de las emisiones de metano, pertenece a las provincias de Carchi, Imbabura y Tungurahua, las cuales se ubicaron en la categoría de emisiones Muy Baja, es decir, que las emisiones individuales oscilan entre 95,6 a 115 Ton CH₄ año, debido a que el número de bovinos presentes en estas provincias es menor en relación a las demás provincias.

El análisis de la emisión-mitigación, se centró en el estudio de las categorías Baja, Media y Alta, el cual refiere al 83,27% del total de las emisiones de metano en la región Interandina, es decir 1601,22 Ton CH₄ emitidas en la región por manejo de estiércol. A continuación se explica con mayor minuciosidad cada una de las categorías en la

Tabla 19, Tabla 20 y

Tabla 21.

Tabla 19. Rango Bajo de emisión. Provincias de la R. Interandina

CATEGORÍA	Rango Ton CH ₄ /año		Rango Ton CO _{2eq}		PROVINCIAS
RANGO BAJO	115,00001	174,00	2415,00021	3654	Bolívar, Cañar, Loja

En la

Tabla 19, se muestra las provincias que se encuentran dentro del rango bajo de emisión de gas metano, el cual oscila entre las 115 y 174 Ton CH₄/año, o en su defecto, también podemos observar su equivalencia de emisión entre 2415 y 3654 Ton CO_{2eq}.

Las provincias dentro de esta categoría son: Bolívar, Cañar y Loja y representan el 23,13% de la totalidad de emisiones, es decir 444,8 Ton CH₄/año.

Tabla 20. Rango Medio de emisión. Provincias de la R. Interandina

CATEGORÍA	Rango Ton CH ₄ /año		Rango Ton CO _{2eq}		PROVINCIAS
RANGO MEDIO	174,000001	243,00000	3654,00002	5103	Azuay, Chimborazo y Cotopaxi

El 30,34% de las emisiones de gas metano por manejo de estiércol, corresponde a las provincias de Azuay, Chimborazo y Cotopaxi. Anualmente, 583,5 Ton CH₄ son emitidos por manejo de estiércol en estas regiones, o su equivalente de 12252,87 Ton CO_{2eq}.

Cada una de estas provincias emite individualmente entre 174 a 243 Ton/CH₄ año (Ver Tabla 20)

Tabla 21. Rango Alto de emisión. Provincias de la R. Interandina

CATEGORÍA	Rango Ton CH ₄ /año		Rango Ton CO _{2eq}		PROVINCIAS
RANGO ALTO	243,000001	330,000000	5103,00002	6930	Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas

En la

Tabla 21 se puede observar la categoría de emisión de metano Alta, la cual genera el 29,79% del total de emisiones, es decir, 572,99 Ton CH₄/año o 12031,95 Ton CO_{2eq}

Este rango tiene un 0,55% menos de emisiones que la categoría Media, sin embargo, se debe considerar que en esta categoría se ubican las dos provincias con mayor cantidad de cabezas de ganado bovino, por esta razón son las dos provincias que representan la mayor emisión de gas metano por manejo de estiércol.

La emisión de cada provincia se encuentra entre 243 a 330 Ton CH₄/año.

En esta sección, se determinó que el volumen de emisiones de gas metano de cada provincia, equivale proporcionalmente a la cantidad de cabezas de ganado vacuno existente en la región. Según la categorización realizada, se pudo apreciar que las provincias que mayor porcentaje de emisión generan son Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas, con 572,99 Ton CH₄/año.

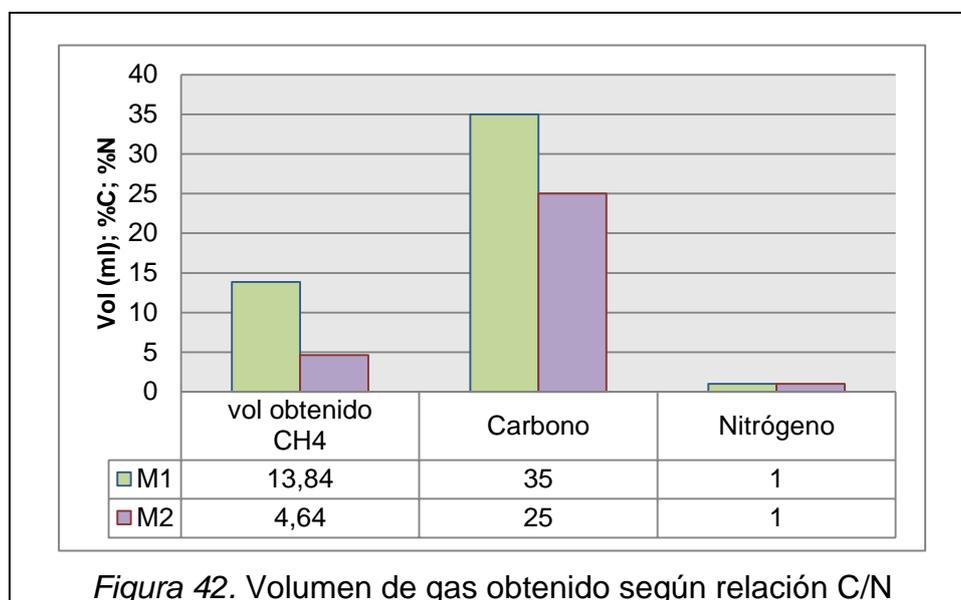
5.2 Porcentaje de captura de gas metano mediante cuantificación experimental

5.2.1 Determinación del mejor tratamiento empleado en la experiencia

En la *Figura 33*. CH₄ capturado en cada tratamiento, se puede apreciar que en la muestra 1 (M1) se obtuvo la mayor producción de gas metano, y para la muestra 2 (M3), el resultado fue menor.

Esto se puede explicar en base a la *Figura 42*, debido que, aunque las dos muestras estuvieron expuestas a las mismas condiciones de temperatura (ambiente), y tienen la misma cantidad de materia animal (estiércol) depositada, M1 es el tratamiento que contiene las proporciones de estiércol, agua y materia vegetal (césped) con la mejor relación C/N para la actividad de degradación bacteriana acercándola a la relación de 35:1 (Proaño, 2011), a diferencia de la M2 que es la muestra que contiene únicamente estiércol y agua, por lo que la relación C/N en este tratamiento es de apenas 25:1 (Proaño, FAO, 2011).

Según la FAO 2011, la relación C/N debe estar comprendida entre 20:1 hasta 40:1 para obtener la combinación adecuada de nutrientes y asegurar el desarrollo de las bacterias, ya que el carbono constituye el 50% de la masa celular y fuente de energía metabólica, mientras el nitrógeno es un componente de las proteínas estructurales y utilizado para la formación de nuevas células. Por esta razón el carbono es consumido de 30 a 35 veces más rápido que el nitrógeno (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011) (Proaño, 2011).



En la Tabla 22 se puede observar que acorde disminuye esta relación, disminuye la velocidad de degradación o reacción bacteriana, con valores próximos a la mejor relación C/N, la producción de biogás ocurre en menor tiempo, mientras con valores muy superiores, se crean problemas de inhibición debido al aumento del amonio y la acidificación del pH (Flotats, 2011).

Tabla 22. Análisis de los resultados de los tratamientos

TRATAMIENTOS	ESPECIFICACIONES	OBSERVACIONES
M1 MOA + MOV	Definición: Muestra 1 Composición: Materia orgánica animal + materia orgánica vegetal (estiércol + césped)	Primera producción de gas a los 14 días. 13,8 l de gas generados
M2 MOA	Definición: Muestra 2 Composición: Materia orgánica animal (estiércol)	Primera producción de gas a 30 días de colocada la muestra. 4,64 l de gas generados

Debido a que M1 es la muestra que simula de la forma más ajustada las condiciones habituales de manejo del estiércol sobre pastos y/o pantanos y presenta los mejores resultados de obtención de gas metano, se consideró solamente sus resultados para los posteriores análisis de tipo volumétrico y geo-estadístico.

5.2.2 Equipo de digestión anaerobia

En previas experiencias realizadas, no se obtuvo resultados de biogás, debido a fallas en la instalación técnica del equipo, ya que se registró fugas y problemas técnicos en el equipo. Por esta razón se empleó finalmente los materiales descritos en la metodología y se obtuvo resultados positivos sobre el proceso de digestión anaerobia.

5.2.3 Captura de gas metano obtenida en función del tiempo

5.2.3.1 Ponderación de la calidad de biogás según la prueba de quemado

En base a la metodología descrita anteriormente sobre la calificación de la calidad del biogás mediante la prueba de quemado “Tabla 10. Ponderación de la calidad del biogas” (Proaño, 2011) (Rivas, 2012).

Se realizaron cuatro réplicas de la prueba de quemado (A, B, C, D), en las cuales M1 obtuvo puntuación de 4/4 en las cuatro réplicas, mientras M2 puntuó 2/4 en las réplicas.

De esta manera, se logró determinar que la muestra 1 presenta los mejores resultados ante la ponderación, donde su calificación es constante en 1 pues presentó la flama de color azul, esto quiere decir que hay un porcentaje de 70% aproximadamente de gas metano presente, por lo tanto, es un biogás de buena calidad (Rodríguez, 2008).

Los resultados fueron diferentes en la muestra 2, pues se obtuvo resultados de 0, lo que representa un gas con menor contenido de gas metano y menor calidad.

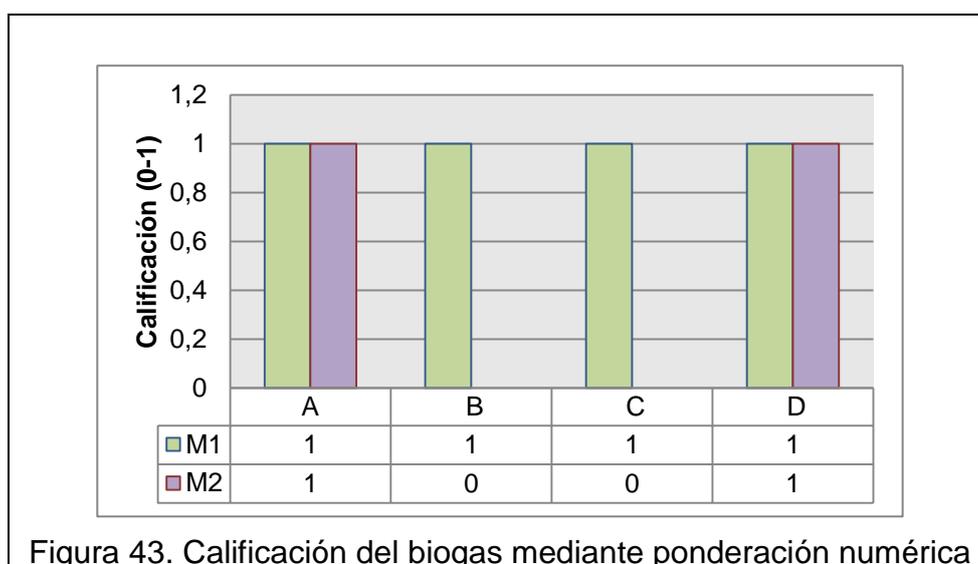


Figura 43. Calificación del biogás mediante ponderación numérica

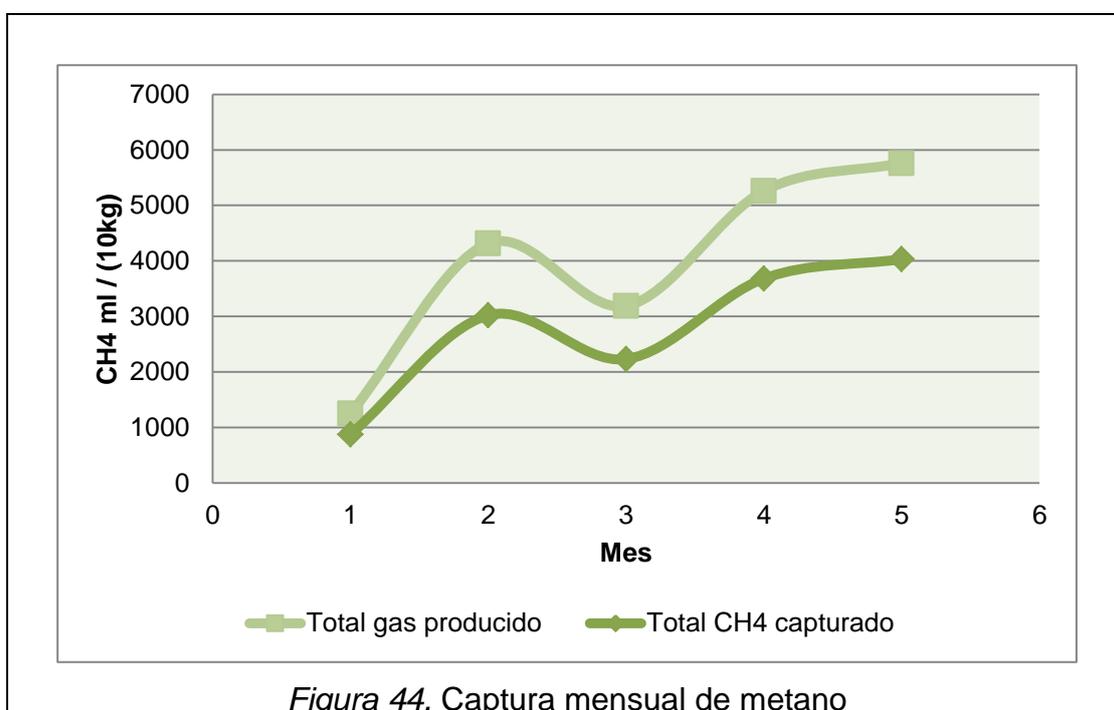
5.2.3.2 Captura experimental de gas metano en función del tiempo

El cálculo experimental de la producción de gas se lo realizó en base a los dos tratamientos de 10kg de estiércol cada uno, lo cual representa aproximadamente el 15% de lo que genera una vaca promedio al día.

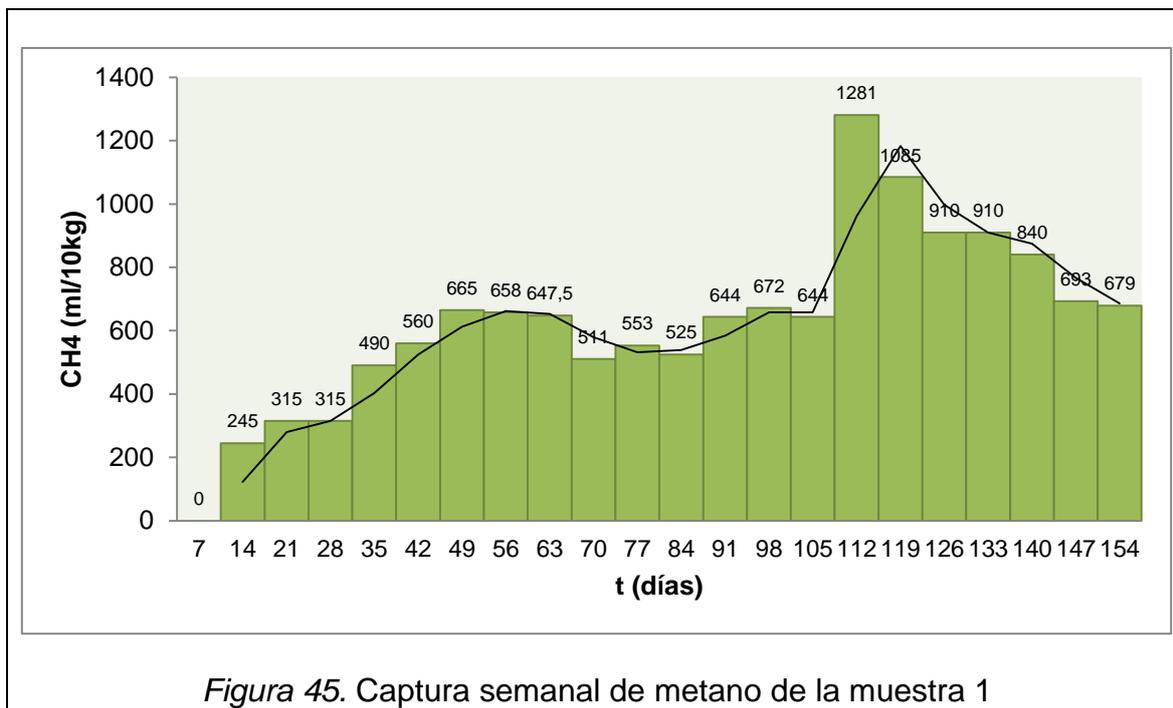
Los resultados obtenidos de gas metano capturados en la muestra 1 (M1), durante la operación del biodigestor a escala piloto, se sustentan en la

proporción del 70% de gas metano contenido en un determinado volumen de biogás (Proaño, 2011) durante un período de 154 días de investigación.

En la *Figura 44*, se puede apreciar la relación existente entre la producción total de biogás generado como resultado del proceso de la biodigestión anaerobia, y la cantidad capturada de gas metano existente en el volumen de biogás, la misma que varía entre el 60 al 70% de su totalidad (Proaño, 2011), lo cual fue determinado en la prueba de quemado mediante la ponderación de la calidad de biogás para M1.



A continuación se presenta la *Figura 45*, la cual indica la variación en la producción de biogás y por ende en la captura de gas metano a través del tiempo.



Se puede apreciar desde el día 14 al 49, que la producción de biogás y en consecuencia la captura de gas metano relacionada, incrementó aproximadamente de manera lineal, tendiendo a estabilizarse hasta el día 63, a partir del día 70 al día 84, el volumen de gas producido y capturado descendió 200 ml en promedio.

Desde el día 49 hasta el día 105, se observó un patrón que fluctuaba entre los 500 y 700ml de gas metano capturado, sin embargo, a partir del día 91 al 112, la producción y captura de gas, asciende de manera exponencial casi doblando el volumen hasta entonces observado, y alcanza los 1300 ml de CH₄, siendo este el máximo resultado obtenido. La siguiente semana y hasta el día 154, el volumen descendió paulatinamente, no se observaron disminuciones drásticas, lo que significa que es la fase de muerte bacteriana.

Las fluctuaciones visibles en los datos resultantes, se deben a que el equipo de biodigestión a escala, se lo puso en marcha a temperatura ambiente y no se adaptó un sistema para mantener una temperatura constante que controle y

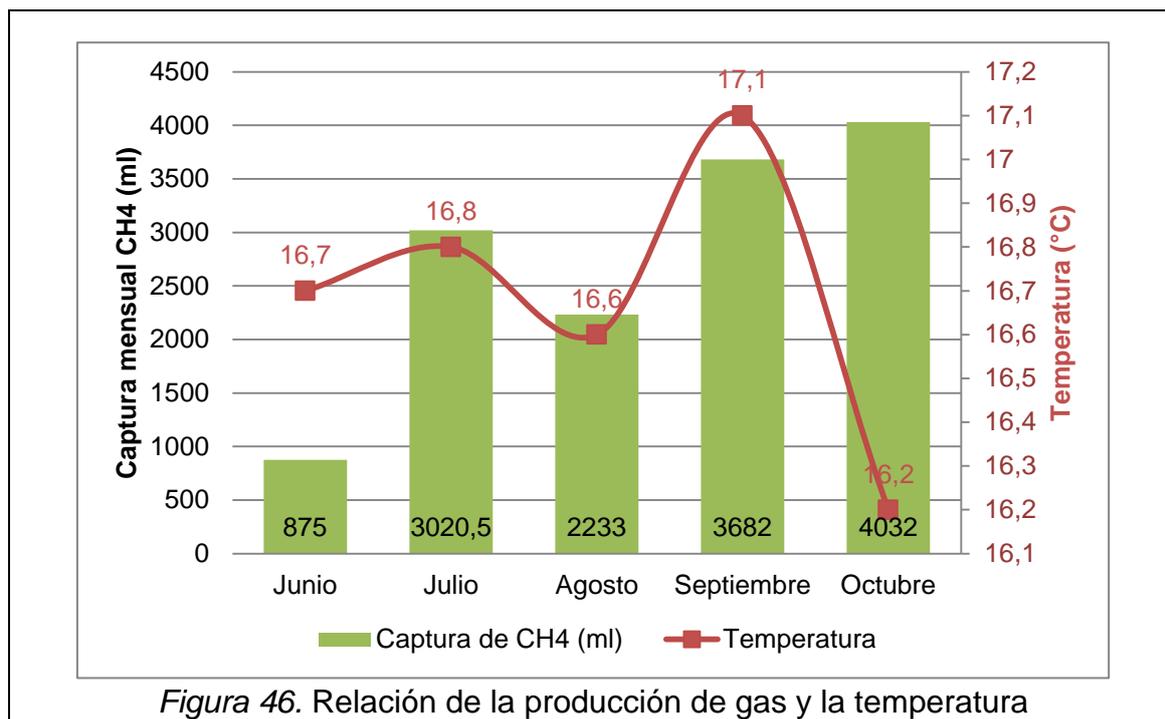
regule la actividad bacteriana y en consecuencia su degradación (Rodríguez, et al., 2008)

En la *Figura 46* se puede observar la relación existente en la producción de gas con la temperatura, en este caso de investigación no se adaptó un sistema para mantener la temperatura constante, por lo cual los datos de temperatura ambiente se extrajeron del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2013.

Durante el mes de junio se determinó la fase inicial de crecimiento o latencia bacteriana y por ende la producción de gas es baja (Flotats, 2011); en el mes de julio se observó el desarrollo exponencial en relación al mes anterior, donde la temperatura favoreció el crecimiento ya que esta no mostró mayor variación (ver *Figura 46*).

En el mes de agosto se apreció un descenso en la temperatura ambiente y se relacionó al descenso en la producción de gas. En el mes de septiembre la temperatura incrementó nuevamente y se registró la mayor temperatura del período de medición (ver *Figura 46*), donde también se presentó el valor más alto de producción de gas en el día 112 (ver *Figura 45*), lo que conlleva a una producción mayor de gas en relación al mes de agosto.

Finalmente, para el mes de octubre, a pesar de que la temperatura decreció significativamente, se registró un valor de gas mayor a los anteriores meses aunque los valores semanales decrecían producto de la fase de muerte celular, ver *Figura 45*.



Durante el mes de Junio, la captura de gas metano por 10kg de estiércol, es decir, aproximadamente el 15% de la producción diaria de estiércol de una cabeza de ganado al día, fue de 875 ml de CH₄; para el mes de Julio, el volumen de gas metano capturado incrementó a 3020,5 ml de CH₄, al mes siguiente, Agosto evidenció un descenso de gas a 2233 ml de CH₄, ascendiendo de nuevo para el mes de Septiembre a 3682 ml, y alcanzó su máximo volumen el mes de Octubre con 4032 ml de CH₄.

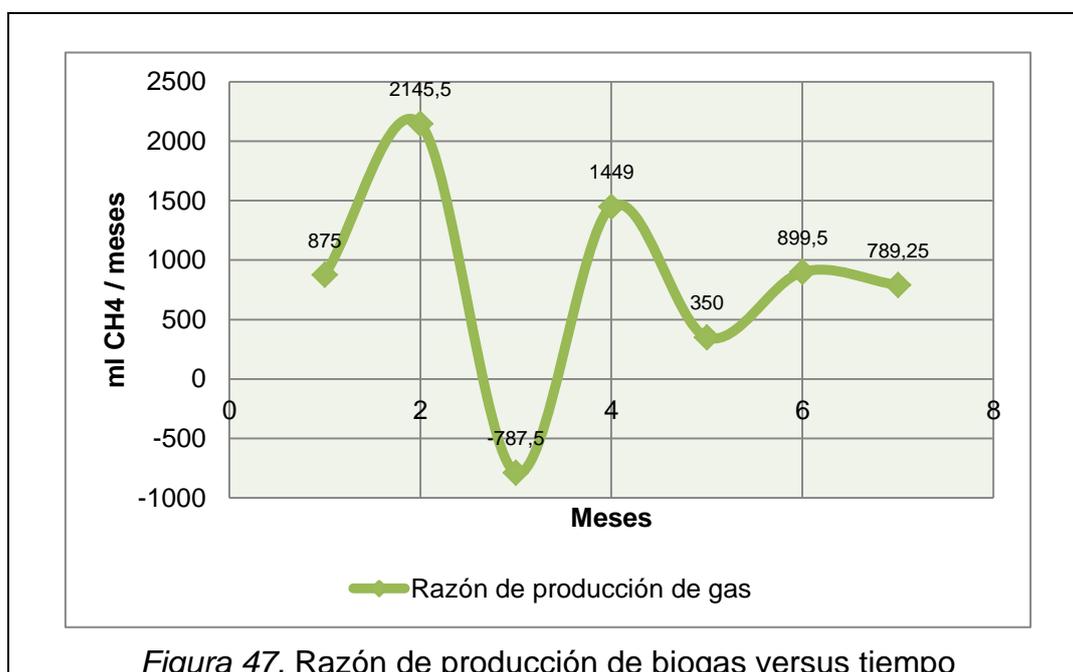
La razón de cambio promedio ($\Delta y/\Delta x = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)$) en la producción de biogás durante los 154 días de estudio, representa el cociente que compara el cambio de la variable y con respecto al cambio de la variable x, es decir, el cambio en la producción de gas con el cambio en el tiempo (Vidal, 2012).

En la *Figura 47*, se puede observar la razón de producción en intervalos de tiempo, donde el mayor cambio promedio surge de julio a junio con la diferencia de 2145,5 ml de producción-captura de gas.

En el intervalo de agosto a julio se presenta un cambio que indica el descenso en la producción con 787,5 ml a causa de la caída en la temperatura que se indicó anteriormente.

Tabla 23. Razón de producción de gas en el tiempo

RAZÓN DE PRODUCCIÓN				
$\frac{\Delta y}{\Delta t}$	1	Junio:Mayo	1:0	875
	2	Julio:Junio	2:1	2145,5
	3	Agosto:Julio	3:2	-787,5
	4	Sept:Agost	4:3	1449
	5	Oct:Sept	5:4	350
	6	Oct:Agost	5:3	899,5
	7	Octubre:Junio	5:1	789,25



5.2.4 Mitigación estimada de emisiones de gas metano en la región interandina

Se realizó el cálculo de las Ton capturadas de CH₄ mediante la aplicación del factor de captura de emisiones experimental obtenido a partir de la metodología del IPCC 2012, de tal manera que en la *Figura 48*, se puede apreciar los resultados de reducción de emisiones para el período de investigación de 5 meses y una proyección a un año para poder realizar la comparación posterior con la línea base de emisión actual de CH₄ proveniente del manejo del estiércol de ganado bovino.

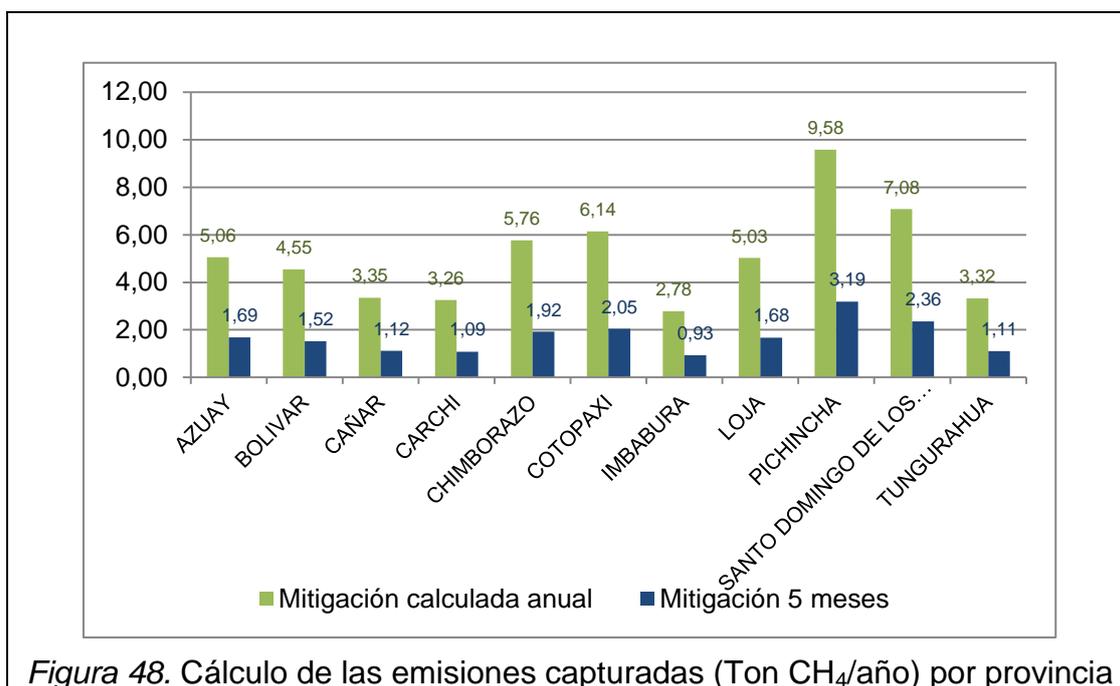


Figura 48. Cálculo de las emisiones capturadas (Ton CH₄/año) por provincia

Los datos de reducción de emisión presentados en la *Figura 48*, representan el escenario de captura de emisiones dado el caso de implementar técnicas de aprovechamiento energético del estiércol como lo es la digestión anaerobia a lo largo de la región interandina del Ecuador, donde se plantea el aprovechamiento como mínimo del 15% de los residuos de ganado vacuno generados en los centros ganaderos; considerando que una cabeza de ganado bovino promedio deyecta alrededor de 60 a 70kg/día (Díaz y Janon, 2010).

La mitigación calculada anual varía en un promedio de 2,7 a 10 Ton de CH₄ por provincia como se puede observar en la *Figura 49*, siendo las provincias de Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas las zonas donde el porcentaje de reducción de emisiones es mayor, debido al alto índice de actividad agrícola-ganadero (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010).

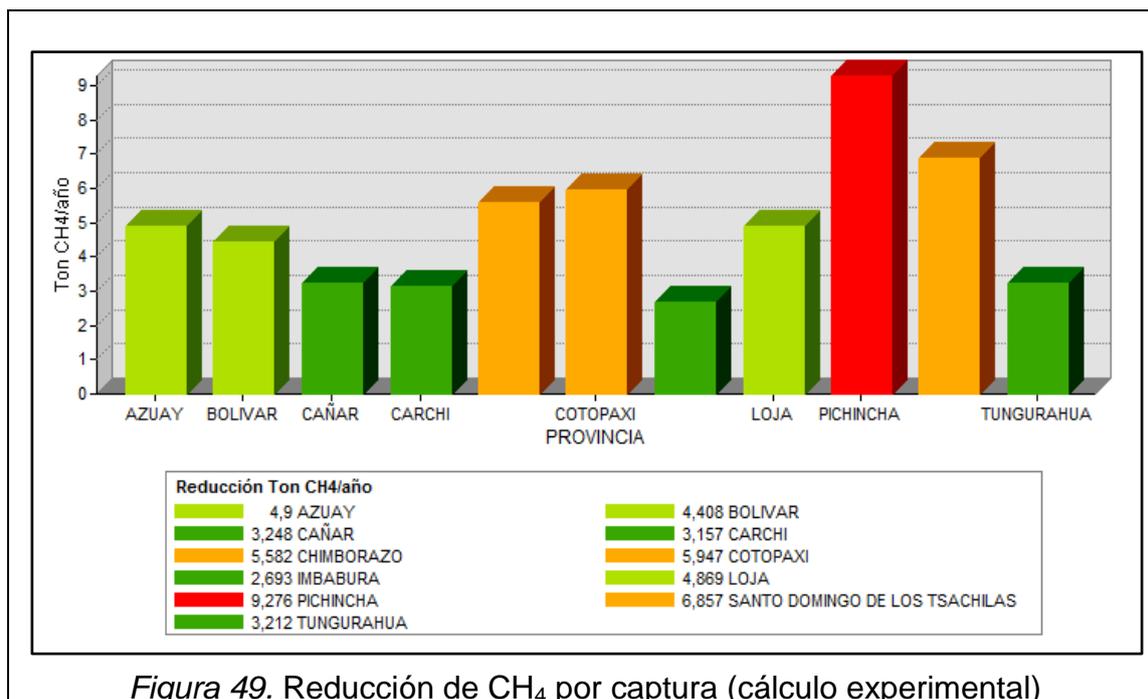
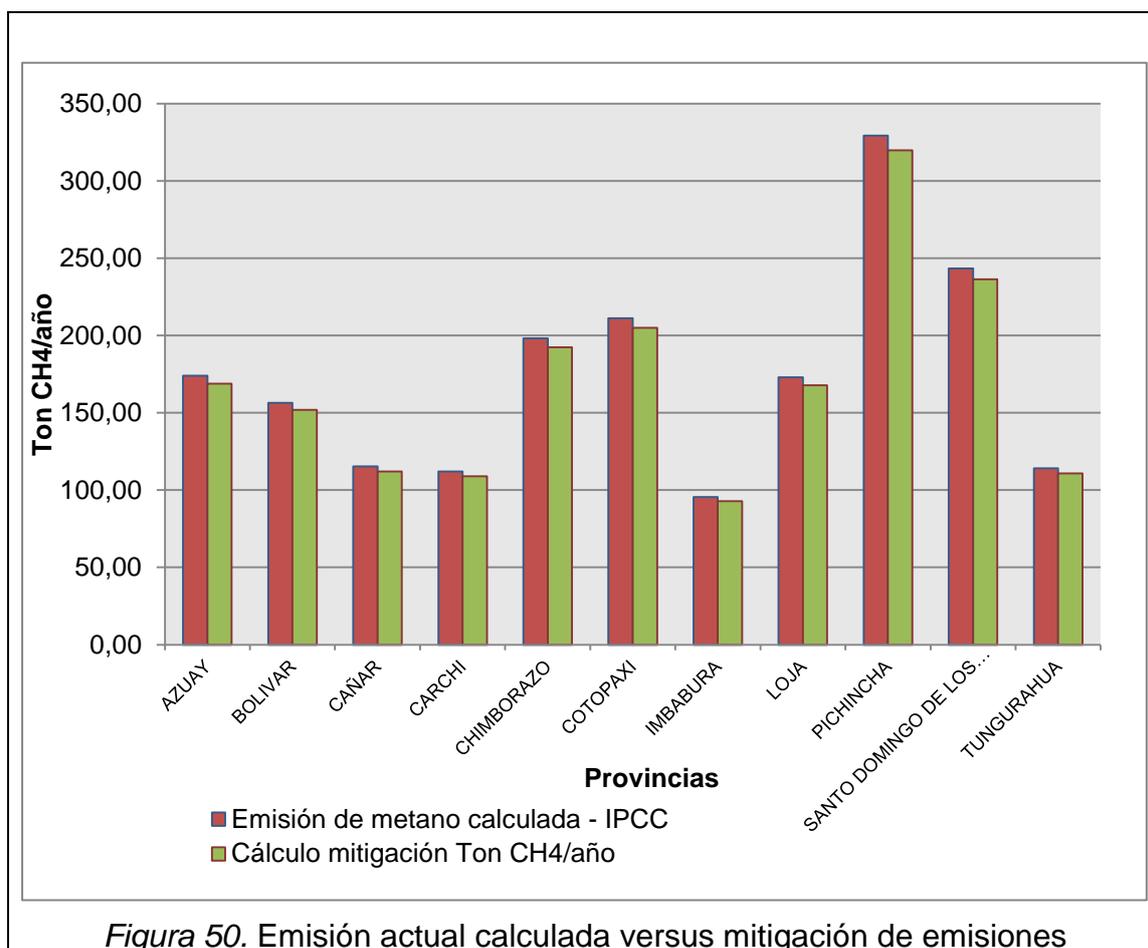


Figura 49. Reducción de CH₄ por captura (cálculo experimental)

En la *Figura 50*, se puede observar la diferencia entre la emisión actual de gas metano proveniente del manejo del estiércol y la diferencia aplicada de la reducción de emisiones calculadas, este resultado está calculado como la mitigación posible de gas metano con el aprovechamiento de 10kg de estiércol por cabeza de ganado vacuno.

El porcentaje calculado de mitigación de emisiones a nivel provincial y regional es del 2,9 al 3%, es decir una reducción de 55,9 Ton CH₄/año.

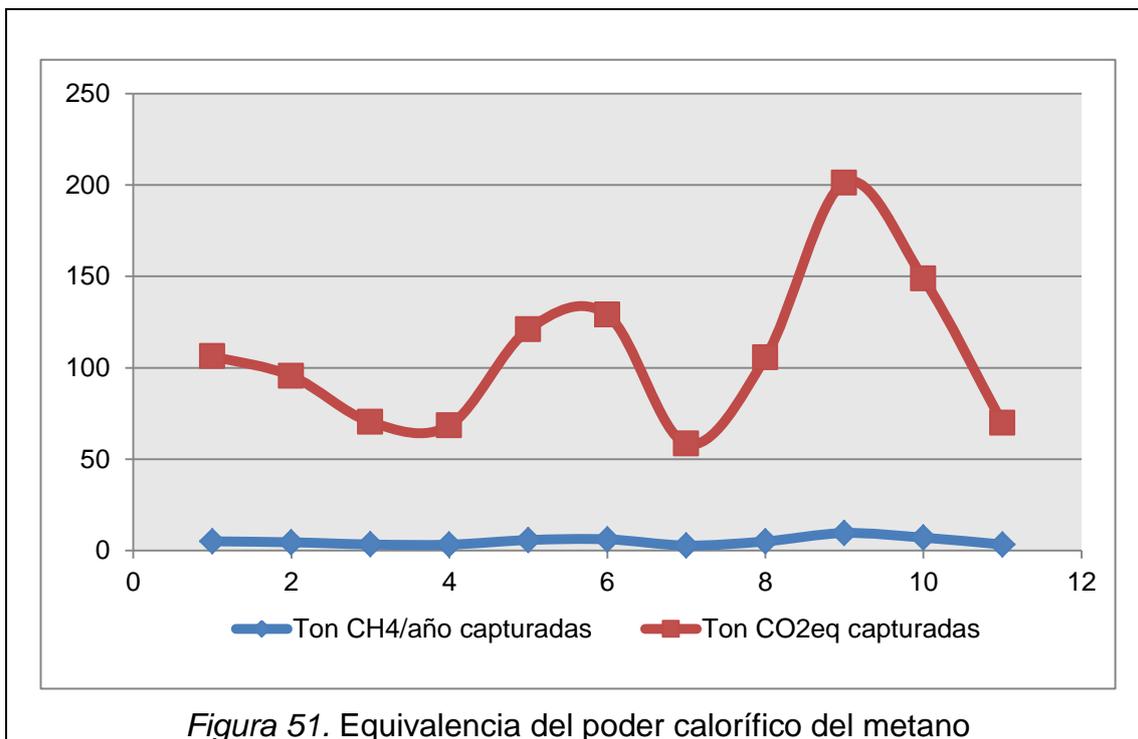
Sin embargo, este porcentaje de mitigación fue calculado en base únicamente al aprovechamiento del 15% del total de generación de una cabeza de ganado por día, evidentemente este resultado incrementaría su potencialidad si tomamos en cuenta que al implementar este tipo de técnica de manejo de estiércol como lo es la digestión anaerobia, se debe aprovechar al máximo su capacidad y emplear los diversos tipos de estiércoles provenientes del sector ganadero, utilizando la materia del ganado vacuno, caprino, caballar, porcino, avícola, etc. Logrando optimizar el uso del biodigestor y magnificando su beneficio ambiental.



Además, el resultado anterior debe contrastarse con el resultado que podemos visualizar en la *Figura 51*, la misma que hace referencia al resultado total de mitigación de emisiones, considerando el poder calorífico del gas metano, el cual es 21 veces mayor al poder calorífico del CO₂.

La equivalencia de 55,9 Ton CH₄ capturadas anualmente, representa la reducción de 1173,9 Ton CO₂eq.

Así mismo, las provincias donde es mayor la mitigación de emisiones, son las provincias con mayor concentración de población ganadera, como Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi.



Los resultados de reducción de emisiones calculados para la región interandina en base a los datos obtenidos y proyectados a partir de la captura experimental de gas metano, determinaron un porcentaje de captura del 3%, esto quiere decir una cantidad de 1173,9Ton CO₂eq/año. Sin embargo, aprovechando una mayor cantidad del estiércol de ganado vacuno y utilizando también estiércol de otras especies, estos resultados podrían incrementar.

5.3 Interpretación de los escenarios de modelación geo-estadística

La modelación geo-estadística realizada, nos permite obtener una visualización clara de los dos escenarios planteados relacionados al Cambio Climático acorde la situación ganadera de la Región Interandina del Ecuador, estos escenarios fueron desarrollados realizando un previo análisis de los datos entre la situación actual de emisión de metano por manejo de estiércol (línea base) y la situación post-mitigación (escenario dada la implementación de la medida de mitigación mediante aprovechamiento y buen manejo del estiércol de ganado).

Tabla 24. Resumen de los escenarios de mapas temáticos

1. EJE REFERENCIAL			2. SITUACIÓN ACTUAL				3. SITUACIÓN POST MITIGACIÓN				4. CAPTURA DE EMISIONES O DIFERENCIA	
MAPA 1. Existencias de ganado vacuno por provincia.			MAPA 2. Emisión de gas metano proveniente del manejo de estiércol - M. IPCC				MAPA 3. Captura y mitigación de gas metano - Aprovechamiento del estiércol de ganado					
CATEGORÍA	RANGO		PROVINCIAS	CATEGORÍA	PROVINCIAS	TOTAL EMISIONES	PORCENTAJE DE EMISIÓN	CATEGORÍA	PROVINCIAS	TOTAL EMISIONES	PORCENTAJE DE EMISIÓN	
R. Muy Bajo	95632	115000	Carchi, Imbabura, Tungurahua	R. Muy Bajo	Carchi, Imbabura, Tungurahua	Ton CH4 = 1923,03 Ton CO2eq = 40383,63	16,74	R. Muy Bajo	Carchi, Imbabura, Tungurahua, Cañar	Ton CH4 = 1867,13 Ton CO2eq = 39209,71	22,73	
R. Bajo	115001	174000	Bolívar, Cañar y Loja	R. Bajo	Bolívar, Cañar y Loja		23,13	R. Bajo	Bolívar, Azuay y Loja		26,18	
R. Medio	174001	243000	Cotopaxi, Chimborazo, Azuay	R. Medio	Cotopaxi, Chimborazo, Azuay		30,34	R. Medio	Santo Domingo de los Tsáchilas, Cotopaxi y Chimborazo		33,95	
R. Alto	243001	330000	Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas	R. Alto	Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas		29,79	R. Alto	Pichincha		17,13	
												Ton CH4 = 55,9 Ton CO2eq = 1173,92

Como se puede apreciar la *Tabla 24* se encuentra dividida en 4 secciones. La primera de ellas es referencial a la *Figura 38. Mapa de existencias de Ganado* en la Región Interandina, en esta sección de la tabla podemos distinguir 4 categorías (Muy Bajo, Bajo, Medio y Alto) establecidas en base a la distribución de la densidad poblacional ganadera de mayor a menor en la región, las mismas que son la base para los siguientes escenarios.

Dentro del Rango Muy bajo en cuanto a la cantidad de cabezas de ganado, se encuentran las provincias de Carchi, Imbabura y Tungurahua; al Rango Bajo pertenecen Bolívar, Cañar y Loja; dentro del Rango Medio están Cotopaxi, Chimborazo y Azuay; y al Rango Alto pertenecen Pichincha y Santo Domingo.

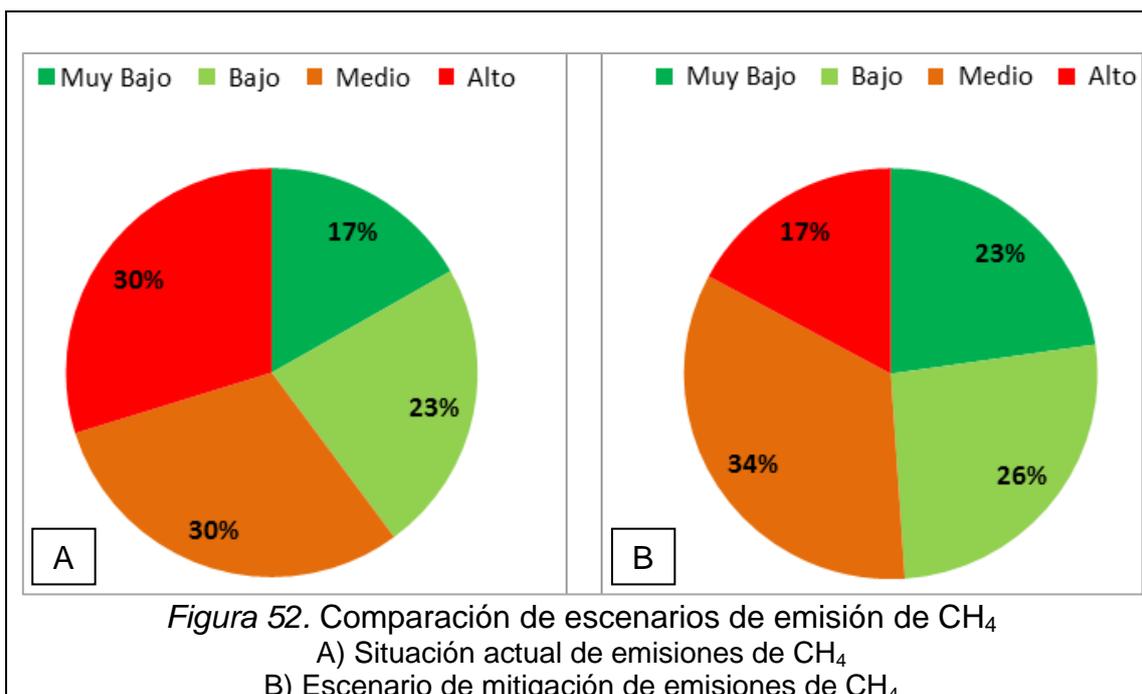
La sección 2, es el resultado obtenido tras la aplicación de la metodología del IPCC en la *Figura 39. Mapa de emisión de Gas Metano proveniente del Manejo del Estiércol – IPCC*. Esta sección representa la situación actual de emisiones por provincia y por categoría. La distribución de las provincias dentro de las categorías se encuentra acorde a la sección 1, debido a que la cantidad de emisiones tienen una relación directamente proporcional a la existencia de ganado en una zona determinada.

Se puede observar que la mayor cantidad de emisiones se encuentra concentrada en la categoría “media” y “alta” con un 30,34% y un 29,79% respectivamente, y la menor concentración de emisiones pertenece a la categoría “muy baja” con un 16,74% de un total de 1923,03 Ton CH₄ o su equivalente a 40383,63 Ton CO_{2eq} (ver *Figura 52*).

Esta situación cambia cuando se interpreta la sección 3 de la tabla, que pertenece al tercer escenario planteado referente a la *Figura 40. Mapa captura y mitigación de Emisión de Gas metano mediante el Aprovechamiento del Estiércol de Ganado*.

Este escenario nos permitió apreciar que tras realizar el análisis que nos proporcionaron los resultados de la captura de emisiones de gas metano, determinado mediante el planteamiento de una propuesta de aprovechamiento energético del 15% del estiércol de ganado vacuno.

De tal manera que, las mayores emisiones de gas metano se encuentran ahora dentro de las categorías “baja” y “media” con un 26,18% y un 33,95% respectivamente, mientras que la categoría que posee el menor porcentaje de emisiones es ahora la categoría “alta” de emisiones, al contrario de la situación anterior, esta vez con apenas un 17,13% de emisiones de un total de 1867,13 Ton CH₄ o su equivalente a 39209,71 Ton CO_{2eq} (ver *Figura 52*).



Además, se pudo apreciar que en los mapas temáticos *Figura 39*. Mapa de emisión de Gas Metano proveniente del Manejo del Estiércol – IPCC y *Figura 40*. Mapa captura y mitigación de Emisión de Gas metano mediante el Aprovechamiento del Estiércol de Ganado, se manifestó claramente el cambio de categoría de las provincias Cañar, Azuay y Santo Domingo de los Tsáchilas hacia la inmediata inferior, mediante el análisis de una situación posterior a la implementación de una medida de mitigación de emisiones como el manejo adecuado del estiércol de ganado bovino.

Finalmente, en la sección 4 se encuentra el valor estimado de emisiones capturadas, el cual corresponde a la diferencia entre la situación actual y la

situación estimada post-mitigación. El valor es de 55,9 Ton de CH₄ que corresponde a 1173,72 Ton CO_{2eq}.

Los resultados descritos anteriormente sobre la mitigación de emisiones de gas metano proveniente del manejo del estiércol, fueron determinados en base al aprovechamiento de residuos calculado de un 15% de la totalidad generada por cabeza de ganado/día, la cual bordea los 60 a 70kg de estiércol/día (Díaz y Janon, 2010).

Esto significa que, al emplear equipos de digestión anaerobia que permitan el procesamiento de una cantidad de 40 a 50kg de estiércol por cabeza de ganado vacuno los resultados de captura de metano, pueden potencializarse y maximizar su beneficio ambiental a nivel regional de captura de emisiones en un 50% de la totalidad de emisiones (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009).

6. Análisis Costo-Beneficio económico y ambiental

El análisis costo-beneficio, se lo realizó enfocándose a los beneficios que puede tener la implementación de una propuesta de Buenas Prácticas de Manejo del estiércol mediante la aplicación de la técnica de la biodigestión.

Se tomó en cuenta los beneficios ambientales como económicos de la propuesta.

6.1 Macro análisis económico-ambiental

Uno más de los réditos económicos para el gas metano, es el comercio de emisiones de gases de efecto invernadero a manera de una compra-venta de los bonos de carbono, que es uno de los Mecanismos de Desarrollo Limpios (MDL) formulados para reducción de GEI a través del Protocolo de Kyoto.

El comercio de gases de efecto invernadero, se realiza en base a los “CO₂ Credits Emission Reduction” (CER's) por sus siglas en inglés, los cuales corresponden a una tonelada de carbono equivalente (usando los respectivos potenciales de calentamiento). La negociación es compartida y relacionada entre países desarrollados y países emergentes a través de incentivos económicos para la mitigación al Cambio Climático (Casas, et al., 2009).

Los centros ganaderos tienen un gran potencial para la aplicación de MDL's que pueden formar parte del comercio de la captura de emisiones de metano y aprovechar los beneficios económicos, además de los importantes beneficios ambientales (Casas, et al., 2009).

En la

Tabla 25. CER's estimados según el Proyecto de Investigación, se detalló el valor que representa la captura de las Ton CO_{2eq} dentro de un mercado de bonos de carbono.

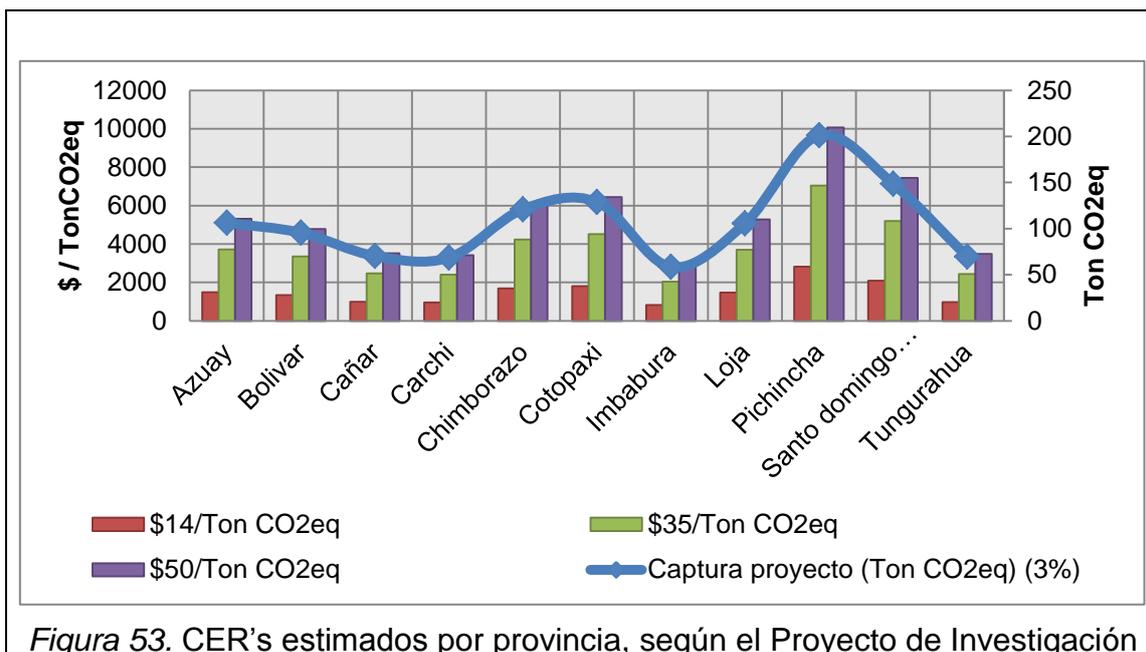
Según el proyecto se obtuvo el 3% de eficiencia en cuanto a la captura de emisiones en la Región Interandina, mediante la aplicación de un manejo mejorado de estiércol en digestores anaerobios.

Esto representa que un total de 1173,9 Ton CO_{2eq} capturadas, en la actualidad genera \$16434,6 (dólares americanos).

Tabla 25. CER's estimados según el Proyecto de Investigación

Bonos de Carbono aplicados a la estimación del Proyecto de Investigación									
No.	PROVINCIA	# Cabezas de Ganado	Emisión actual		MDL		Presente	2020	
			Ton CH4	Ton CO _{2eq}	Captura CH4 proyecto (3%)	Captura proyecto (Ton CO _{2eq}) (3%)	\$14/Ton CO _{2eq}	\$35/Ton CO _{2eq}	\$50/Ton CO _{2eq}
1	Azuay	174033	174,03	3654,63	5,06	106,26	1487,64	3719,1	5313
2	Bolivar	156543	156,54	3287,34	4,55	95,55	1337,7	3344,25	4777,5
3	Cañar	115338	115,34	2422,14	3,35	70,35	984,9	2462,25	3517,5
4	Carchi	112135	112,14	2354,94	3,26	68,46	958,44	2396,1	3423
5	Chimborazo	198227	198,23	4162,83	5,76	120,96	1693,44	4233,6	6048
6	Cotopaxi	211207	211,21	4435,41	6,14	128,94	1805,16	4512,9	6447
7	Imbabura	95632	95,63	2008,23	2,78	58,38	817,32	2043,3	2919
8	Loja	172915	172,92	3631,32	5,03	105,63	1478,82	3697,05	5281,5
9	Pichincha	329418	329,42	6917,82	9,58	201,18	2816,52	7041,3	10059
10	Santo domin	243525	243,53	5114,13	7,08	148,68	2081,52	5203,8	7434
11	Tungurahua	114057	114,06	2395,26	3,32	69,72	976,08	2440,2	3486
TOTAL		1923030	1923,03	40383,63	55,9	1173,9	16434,6	41086,5	58695

Como se puede ver en la *Figura 53*, este valor puede incrementarse acorde se incremente el valor de la Ton CO_{2eq} en el mercado, es decir se estima que al 2020 el precio de la Ton CO_{2eq} aumente a \$35 o \$50 (Mercados de Medio Ambiente, 2013); (Hilbert, 2011, p. 7), lo que resulta en \$41086,5 o un valor de \$58695. Pero esto acorde a un 3% de eficiencia capturada.



Sin embargo, se puede plantear un escenario con una mayor eficiencia de captura de GEI¹, esto implementando mejoras técnicas en los equipos, tales como ampliando el volumen del biodigestor, implementando adecuaciones para mantener la temperatura constante, y se puede también investigar sobre diferentes tipos de materia vegetal que contribuyan en una optimización de la generación de biogás mediante su aporte de C/N.

Mediante la generación de biogás se puede lograr una reducción de emisiones en un 50% a 75% (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009, p. 137). Como se muestra en la *Tabla 26*. CER's estimados a un 40% de eficiencia de captura proyectado, se estima se podría capturar alrededor de 16153,45 Ton CO_{2eq}, lo que equivale en la actualidad alrededor de \$226148,33.

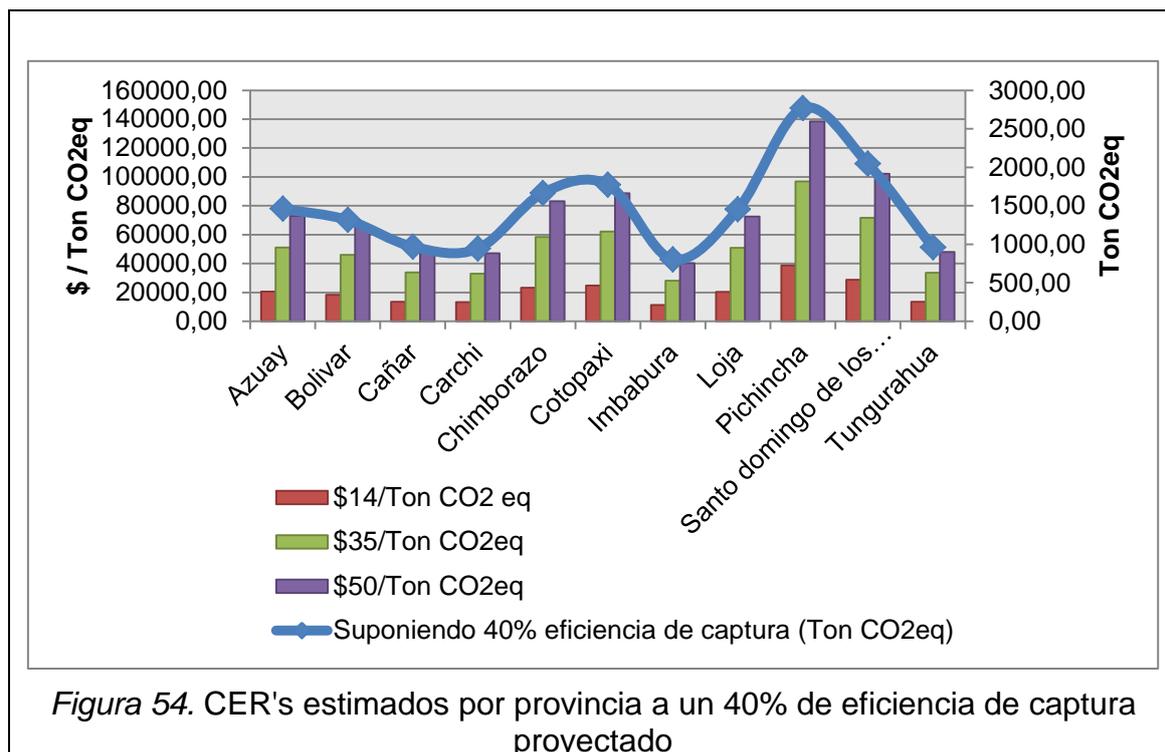
Para una mejor visualización del escenario de captura con una eficiencia del 40%, podemos observar más adelante la

Figura 55 que representa la modelación geoestadística de Mitigación al Cambio Climático según este escenario planteado.

Tabla 26. CER's estimados a un 40% de eficiencia de captura proyectado

Bonos de Carbono aplicados a un 40% de eficiencia									
No.	PROVINCIA	# Cabezas de Ganado	Emisión actual		MDL		Presente	2020	
			Ton CH4	Ton CO2eq	Suponiendo 40% eficiencia captura (CH4)	Suponiendo 40% eficiencia de captura (Ton CO2eq)	\$14/Ton CO2 eq	\$35/Ton CO2eq	\$50/Ton CO2eq
1	Azuay	174033	174,03	3654,63	69,61	1461,85	20465,93	51164,82	73092,60
2	Bolivar	156543	156,54	3287,34	62,62	1314,94	18409,10	46022,76	65746,80
3	Cañar	115338	115,34	2422,14	46,14	968,86	13563,98	33909,96	48442,80
4	Carchi	112135	112,14	2354,94	44,86	941,98	13187,66	32969,16	47098,80
5	Chimborazo	198227	198,23	4162,83	79,29	1665,13	23311,85	58279,62	83256,60
6	Cotopaxi	211207	211,21	4435,41	84,48	1774,16	24838,30	62095,74	88708,20
7	Imbabura	95632	95,63	2008,23	38,25	803,29	11246,09	28115,22	40164,60
8	Loja	172915	172,92	3631,32	69,17	1452,53	20335,39	50838,48	72626,40
9	Pichincha	329418	329,42	6917,82	131,77	2767,13	38739,79	96849,48	138356,40
10	Santo domin	243525	243,53	5114,13	97,41	2045,65	28639,13	71597,82	102282,60
11	Tungurahua	114057	114,06	2395,26	45,62	958,10	13413,46	33533,64	47905,20
TOTAL		1923030	1923,03	40383,63	769,21	16153,45	226148,33	565370,82	807672,60

De igual manera, se realizó la estimación según el alza en los precios por Ton CO_{2eq} al 2020, y los resultados se observan en la *Figura 54*, que según el incremento en el valor a \$35 o \$50, la captura de 16153,45 Ton CO_{2eq}, suponiendo un 40% de eficiencia, equivaldría a \$565370,82 o a \$807672,60 según corresponde; siendo la provincia en la que se podría implementar en mayor medida el mejor manejo del estiércol según la cantidad de existente de cabezas de ganado vacuno presente en Pichincha.



Se puede observar según el escenario de mitigación planteado en el *Mapa 4*, que 7 de las 11 provincias de la Sierra ecuatoriana se categorizan dentro del nivel de emisión de metano Muy Bajo, mientras Chimborazo, Cotopaxi y Santo Domingo de los Tsáchilas se sitúan dentro del nivel Bajo de emisiones.

La provincia de Pichincha que se encontraba en el rango Alto de emisiones, baja al nivel Medio, por lo tanto la categoría de emisiones Alta se elimina.

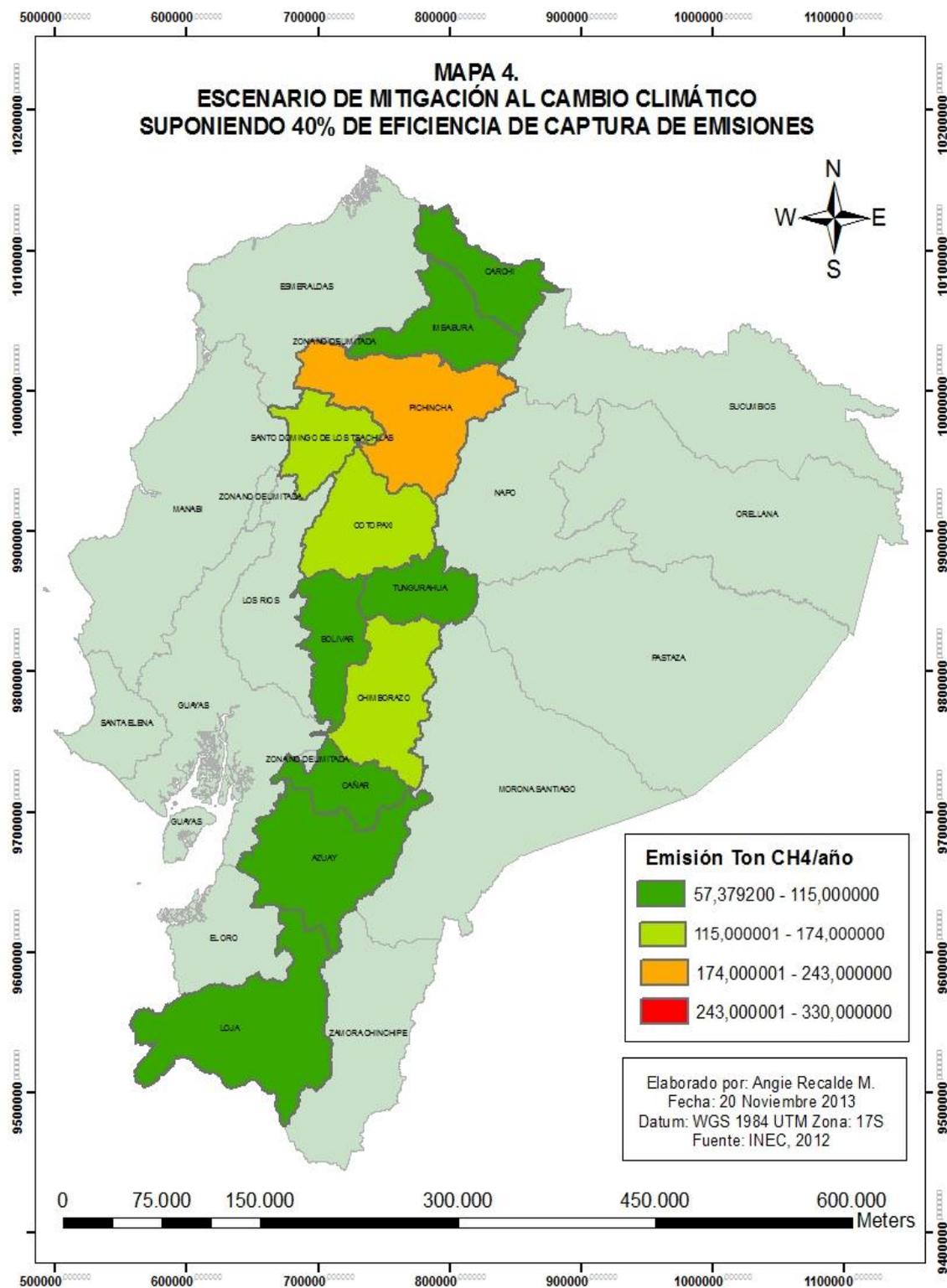


Figura 55. Escenario de mitigación al C.C. suponiendo 40% de eficiencia de captura

6.2 Micro análisis financiero

El micro análisis financiero se lo realizó en función de los costes que puede representar la inversión de un biodigestor y los beneficios económicos que implementar una acción de manejo adecuado de estiércol representa.

Para un centro ganadero de pequeña escala que varíe entre 50 a 70 cabezas de ganado, podemos observar en la *Tabla 27* el costo total de un biodigestor anaerobio, desglosando los gastos de inversión y de operación. Este representaría una inversión de \$441, el cual se generaría dentro del primer mes de construcción y puesta en marcha de un equipo de 600 l de volumen.

Para los valores de mano de obra y recurso humano, se hizo el cálculo por hora en base al salario mínimo vital establecido en el año 2014 por el Ministerio de Relaciones Laborales del Ecuador.

Este modelo de planificación financiera servirá solo como una guía, se deberá adaptar a los requerimientos de cada proyecto.

Tabla 27. Costos de la implementación de un biodigestor para una granja pequeña

	COSTOS DE INVERSIÓN			
	DESCRIPCIÓN	VALOR UNIT	CANTIDAD	TOTAL
MATERIALES	Tanque con sello hermético (600 litros)	106	1	106
	Valvulas de bola	8	2	16
	Válvula de gas	13	1	13
	Manguera gas/mt	1	4	4
	Llaves y neplos	12	1	12
	Bolsa de geomembrana de 0,5 m3	200	1	200
HUMANOS	Mano de obra/día	30	3	90
TOTAL				441

COSTOS DE OPERACIÓN			
DESCRIPCIÓN	VALOR	CANTIDAD	TOTAL
Mano de obra/h	6,38	2	12,76
TOTAL			12,76

COSTO TOTAL	
Costo de inversión	441
Costo de operación	12,76
TOTAL	453,76

Se realizó una valorización del gasto anual por la compra de fertilizantes comerciales y GLP necesarios para el funcionamiento de una granja, y como se puede observar en la *Tabla 28*, el gasto promedio anual en la compra de estos insumos, es de \$3761.

Tabla 28. Gastos anuales en fertilizantes y GLP

	SIN PROYECTO												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL
RECURSOS HUMANOS	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	76,56
CAPACITACIÓN													0
USO DE GLP (3,5 tnqs/mes)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	84
USO DE FERTILIZANTE COMÚN	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3600
TOTAL	313,4	313,4	313,4	313,4	313,4	313,4	313,4	313,4	313,4	313,4	313,4	313,4	3761

Tomado de Sandoval, 2014

Mediante la implementación de las Buena Práctica de Manejo del estiércol, se puede contrastar estos costes y reducirlos en el primer año de instalación y puesta en marcha de un biodigestor en aproximadamente \$1000 al primer año de construcción y funcionamiento como podemos observar en la *Tabla 29*, este valor de reducción inicia a partir del 6to y 7mo mes, cuando se puede reemplazar en un 100% el uso de los fertilizantes comerciales por el biol para el uso en pastos, además, se autogenera biogás y se evita también este gasto,

sin embargo no resulta tan significativo económicamente debido a los subsidios con los que cuenta en el Ecuador este recurso.

A partir del año 2 hasta el año 4, el gasto se reduce considerablemente, ya que la inversión se encuentra recuperada y a partir de este período, no se deberá incurrir en gasto de fertilizantes.

Se estima que en el 5to año se debe realizar un mantenimiento del equipo para asegurar su óptimo funcionamiento.

Tabla 29. Gastos considerando reemplazo de fertilizantes y GLP a biol y biogas

	CON PROYECTO														AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL					
RECURSOS HUMANOS	6,38	12,76	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	82,94	82,94	82,94	82,94	82,94	
CAPACITACIÓN													0					
EQUIPO BIODIGESTOR		441											441					
USO DE FERTILIZANTE COMÚN	300	300	300	300	300	300	300						2100					
USO DE GLP	7	7	7	7	7								35					
MANTENIMIENTO													0				240	
TOTAL	313,4	760,8	313,4	313,4	313,4	306,4	306,4	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	2659	82,94	82,94	82,94	322,9	

7. Programa de Mitigación al Cambio Climático

El Programa de Mitigación al Cambio Climático descrito a continuación, se encuentra en concordancia con la visión y los objetivos establecidos en el Plan de Acción Climático de Quito 2012 – 2016 y en articulación a la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2012 – 2025.

7.1 Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) 2012 – 2025

Para la definición de los sectores prioritarios para la implementación de acciones sobre el eje de trabajo de la mitigación del cambio climático considerados en la ENCC, se tomaron en base a tres criterios principales como lo son: 1. El sector productivo que mayor cantidad de emisiones genere en el país y con mayor tendencia al incremento (según el Inventario Nacional de GEI); 2. La Importancia relativa del sector productivo en la economía del país; y 3. Futuros compromisos para el reporte de emisiones de GEI ante la CMNUCC (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2012, p. 30)

Según el respectivo análisis de las variables anteriores y de costo-efectividad, se determinó como sector prioritario para las acciones de mitigación al cambio climático, el sector agricultura, uso del suelo, el sector energías, manejo de desechos y procesos industriales (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2012).

7.1.1 Horizontes de planificación de la ENCC

La Estrategia Nacional de Cambio Climático cuenta con cuatro horizontes de planificación,

<i>Visión</i>	Una visión al 2025 que oriente a largo plazo hacia dónde dirigir los esfuerzos del país respecto al cambio climático.
<i>Líneas Estratégicas</i>	Dos Líneas Estratégicas que constituyen los ejes de la ENCC para el cumplimiento de la visión al 2025. Enfocadas en la reducción de vulnerabilidad y de emisiones de GEI.
<i>Objetivos, Resultados y Lineamientos para la Acción</i>	La Estrategia cuenta con un objetivo general para cada Línea Estratégica, 15 objetivos específicos en total, y 45 resultados definidos para el año 2013. Para el 2017 y el 2025 contemplan 'Lineamientos para la Acción' que ofrecen grandes orientaciones a cada sector, para el trabajo a largo plazo en cada Línea Estratégica.
<i>Mecanismo de Implementación</i>	El Mecanismo de Implementación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático cuenta con 3 instrumentos: Plan de Creación y Fortalecimiento de Condiciones, Plan Nacional de Adaptación y Plan Nacional de Mitigación

Figura 56. Horizontes de planificación de la ENCC

Tomado de, MAE, 2012, p. 37

En base a la Línea Estratégica de Mitigación al Cambio Climático de la ENCC, enfocada a la reducción de emisiones de GEI, se plantean los siguientes objetivos:

Dentro de la Línea Estratégica de Mitigación al Cambio Climático, se encuentra el primer objetivo específico, el cuál busca "Identificar e incorporar prácticas apropiadas para mitigar el cambio climático en el sector agropecuario, que puedan además fortalecer y mejorar su eficiencia productiva y competitividad" (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2012, p. 58)

7.2 Plan de Acción Climático de Quito 2012 – 2016

Según el Plan de Acción Climático Quito, el sector agrícola es considerado como un eje prioritario para la implementación de acciones para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y para la reducción de la vulnerabilidad económica, ambiental y social generada por los efectos del cambio climático (Secretaría de Ambiente DMQ, 2012, p. 36).

Esto se debe a que el sector agrícola es el responsable de la contribución con un 38% del total de las emisiones de GEI, debido al crecimiento importante del número de cabezas de ganado vacuno y al uso desmedido de fertilizantes, plaguicidas y fungicidas con base nitrogenada (Secretaría de Ambiente DMQ, 2011, p. 10) (Secretaría de Ambiente DMQ, 2012, p. 36)

7.2.1 Línea Estratégica

“Implementar medidas de adaptación y mitigación en el sector agropecuario, con un enfoque en buenas prácticas ambientales y el mejoramiento tecnológico” (Secretaría de Ambiente DMQ, 2012, p. 37).

7.2.2 Resultados

“Estrategias y acciones locales que reduzcan, mitiguen y controlen la emisión de GEI en el sector agropecuario, definidas y puestas en marcha” (Secretaría de Ambiente DMQ, 2012, p. 37).

En concordancia a lo establecido por la Estrategia Nacional de Cambio Climático, y el Plan de Acción Climático de Quito, se propone el siguiente programa de Mitigación al Cambio Climático como una Buena Práctica de Manejo del estiércol (BPM_e) a nivel piloto en el Centro Experimental UDLA-NONO.

7.3 Programa de gestión de las excretas animales para la reducción de las emisiones de gas metano en centros ganaderos

Se planteó una iniciativa aplicable a la mitigación al cambio climático en el centro experimental UDLA-NONO, mediante la gestión y buen manejo del estiércol de ganado; la misma que puede ser replicada a mayor escala en diferentes centros ganaderos.

NOMBRE DEL PROYECTO / PROGRAMA	Programa de gestión de las excretas animales para la reducción de las emisiones de gas metano en centros ganaderos
DIAGNÓSTICO INICIAL O PROBLEMÁTICA SOCIAL	
<p>El Centro Experimental UDLA-NONO, es un centro creado con algunas funcionalidades, una de ellas es para la generación del conocimiento aplicado de las diferentes carreras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Las Américas.</p> <p>Este centro experimental se encuentra ubicado en la parroquia de San Miguel de Nono, a 45 minutos de la ciudad de Quito. Su condición climática es fría, entre 11 o 15 grados centígrados.</p> <p>Se ha realizado un diagnóstico previo de la condición del centro en el área ganadera. Se logra apreciar que poseen alrededor de 46 cabezas de ganado vacuno (de leche y vaconas).</p> <p>Para el área de ordeño se realizan 2 lavados diarios de las excretas, la cual termina a manera de agua residual en una acequia cercana al establo, misma que no cuenta con las adecuaciones de una laguna cubierta para el tratamiento del agua residual. Por otra parte, se encuentra una cantidad significativa de estiércol de ganado diseminada por los pastos, el cual corresponde al ganado estabulado de la granja. Esta condición de manejo de estiércol, se asemeja a la de una gran mayoría de centros ganaderos, donde no existe una gestión adecuada y aprovechamiento de este tipo de residuos, generando contaminación a cuerpos hídricos, al suelo y la emisión de malos olores y de gases de efecto invernadero a la atmósfera, además de problemas de higiene y salubridad que pueden desencadenarse de la ausencia de gestión del estiércol.</p>	
DESCRIPCIÓN (SINOPSIS) DEL PROYECTO O PROGRAMA	
<p>La propuesta consiste en generar un programa de gestión, buen manejo y aprovechamiento del estiércol de ganado como una opción económicamente viable y ambientalmente sostenible para el sector dedicado a la actividad económica agropecuaria, donde se propone la captura de emisiones de gas metano mediante la investigación y la proposición de aplicación de la técnica de digestión anaerobia del estiércol, obteniendo a cambio una opción viable en cuanto a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero refiriéndonos para este caso de estudio al gas metano, y la producción y generación de biofertilizantes y biogas, los mismos que</p>	

pueden ser utilizados para su beneficio o ser comercializados.	
ES PERTINENTE CON LA REALIDAD NACIONAL	Sí se ajusta a la realidad nacional.
CÓMO SE RELACIONA CON LA SATISFACCIÓN DE ALGUNA DEMANDA O NECESIDAD DE LA COMUNIDAD A LA QUE SE DIRIGE EL PROYECTO	
Esta propuesta a más de ser una iniciativa de mitigación al Cambio Climático mediante la captura de emisiones de gas metano, satisface también la demanda de fertilizantes empleada en actividades agrícolas, reemplazando el uso de fertilizantes químicos, por el uso de bio-fertilizantes de origen 100% orgánico. Además la obtención de un segundo producto como el bio-gas, mismo que puede ser empleado para la combustión y su uso en cocinas. Estos aportes representan un beneficio para la sociedad, tanto económico, como ambiental	
JUSTIFICACIÓN (Justifique porque está proponiendo este programa)	
Tomando en consideración la situación actual que conllevan los efectos del cambio climático a nivel, socio-ambiental y socio-económico, resulta de gran interés desarrollar temas de investigación que puedan aplicarse como iniciativas a las líneas estratégicas nacionales de mitigación y adaptación al Cambio Climático, como importantes aportes antes una realidad que enfrentamos.	
TIPO DE PROYECTO: (SELECCIONE UNA DE LAS ACTIVIDADES DE VINCULACIÓN A LA QUE PERTENECE EL PROYECTO O PROGRAMA ver al final de la matriz los tipos de proyecto)	
B) y F)	
SECTOR EN EL QUE TENDRÁ IMPACTO EL PROYECTO	1) Desarrollo humano y social 2) Cambio Climático
LUGAR DONDE SE REALIZARÁ EL PROYECTO O QUE COMUNIDAD SE BENEFICIARÁ CON EL MISMO	
Se plantea la aplicabilidad del programa de Buenas Prácticas de Manejo del estiércol en el Centro Experimental UDLA-NONO, como una iniciativa a la mitigación al cambio climático. La ubicación de centro experimental es al noroccidente de la ciudad de Quito y comprende 34 hectáreas. Sin embargo, la propuesta de mitigación de emisiones de gas metano está planteada y de manera que sea replicables para centros ganaderos con existencias de ganado que oscilen entre los 50 a 200 cabezas.	

OBJETIVO GENERAL	
Diseñar un programa o Buena Práctica de Manejo de estiércol, mediante el aprovechamiento de los residuos del ganado bovino para el Centro Experimental UDLA-NONO.	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar las principales guías técnicas para un manejo adecuado del estiércol. • Identificar el beneficio ambiental que representa el aprovechamiento de estos residuos, en lo referente a la reducción de gases efecto invernadero y obtención de productos como el biol y el biogas. 	
FECHA DE INICIO	Junio 2013
TIEMPO PLANIFICADO	7 meses
TIEMPO DE DURACIÓN	7 meses
EXPLIQUE LA FORMA EN QUE SU PROYECTO SERA AUTO SUSTENTABLE	
La generación de productos como el biogás y los biofertilizantes (biol) son útiles para las actividades agrícolas, permitirán reemplazar el gasto mensual estimado para la compra de fertilizantes químicos en el mercado y el uso de GLP, justificando de esta manera la inversión inicial, la cual será recuperada a partir del 6to y 7mo mes de uso del equipo propuesto.	
BENEFICIARIOS PROYECTO/PROGRAMA	
BENEFICIARIOS DIRECTOS PLANIFICADOS	Centro Experimental UDLA-NONO
BENEFICIARIOS INDIRECTOS PLANIFICADOS	Docentes y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Ambiental
IMPACTO ESPERADO/INDICADORES (indique como va a medir sus impactos)	
<p>Se debe verificar la gestión y el buen manejo del estiércol mediante:</p> <p>Disminución de residuos (estiércol en pastos y estanques)</p> <p>Producción de bioles</p> <p>Producción de biogás – Captura de metano</p> <p>Reducción en costes económicos por compra de fertilizantes (a partir del 6to y 7mo mes de funcionamiento)</p>	

ACTIVIDADES DE LA PROPUESTA: (Cómo poner en práctica)

Como ya se ha mencionado anteriormente, un manejo no adecuado del estiércol puede presentar impactos negativos a la salud humana y a la salud del medio ambiente, afectando a los componentes ambientales como el suelo, el agua y el aire.

La implementación de Buenas Prácticas de Manejo del estiércol, puede ser una medida que minimice el impacto negativo del manejo del estiércol y a su vez, traiga beneficios económicos, ambientales y para la sociedad.

El manejo de estiércol dependerá en gran parte si éste es sólido, semi-sólido o líquido. Si es del caso que este se maneja como semi-sólido, se optará por hacer separación por decantación de sólido-líquido para manejarlo de manera líquida o se dejara secar para manejarlo de manera sólida.

En el caso de una granja que no posee una extensa cantidad de cabezas de ganado, este puede ser tratado en su mayoría como estiércol sólido.

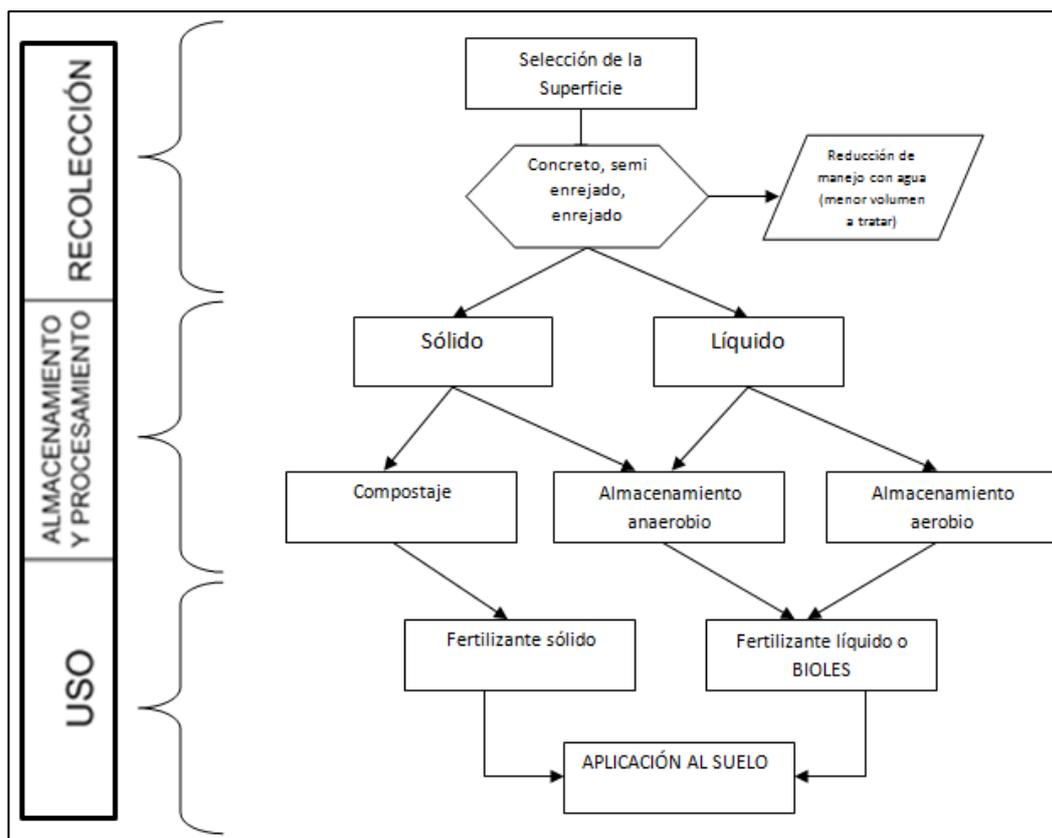


Figura 57. Guía técnica general para el manejo de estiércol

En la *Figura 57*. Guía técnica general para el manejo de estiércol, se elaboró una guía técnica para las Buenas Prácticas de Manejo de estiércol en centros ganaderos mediante el aprovechamiento energético de este residuo.

➤ **MANEJO PARA ESTIÉRCOL SÓLIDO:**

Para la instalación de bio-digestores de una sola carga, donde se receptorá estiércol sólido en mayores proporciones, se recomienda lo siguiente:

- Las aguas de lavado pueden ser empleadas en proporción de 2:1 para el biodigestor (2 partes de estiércol sólido por 1 de agua residual)
- Limpieza y recogida del estiércol sólido en los pasillos del establo puede realizarse de forma manual (paleo), mecánica (uso de maquinaria como pequeños tractores) y o implementación de nueva tecnología como limpiadores hidráulicos, barrederas y/o rascadores de pasillos.
- El estiércol puede ser almacenado en sitios ventilados y con las precauciones adecuadas por lapsos de una o dos semanas.
- El estiércol en grandes cantidades debe recibir un tratamiento, que consiste en ser mezclado con agua (puede ser el agua residual) para disminuir la concentración de sólidos
- Después debe ser transferido hacia el bio-digestor para realizar la carga.
- Se debe agregar restos de podas, materia vegetal para alimentar el bio-digestor.
- El bio-digestor debe estar cerca del sitios de almacenamiento y transferencia pero distante del sitio de ordeño y de pozos o cuerpos de agua.

➤ **MANEJO PARA ESTIÉRCOL LÍQUIDO:**

Si es del caso que el estiércol se maneja en su mayoría de forma líquida, es recomendable:

- La transferencia por gravedad, permite que el estiércol líquido drene hacia desagües que descargan en una laguna anaeróbica o biodigestores tipo salchicha.
- De igual manera deben existir las adecuaciones necesarias para el manejo del estiércol tratado, del biogás de salida y de los biofertilizantes que se obtendrán posteriormente.

RESULTADOS

A través de la digestión anaerobia, se obtienen en total tres productos:

- Captura de GEI
- Biogas
- Biol o biofertilizante

- **Captura de GEI:**

Como se ha podido observar a lo largo de este proyecto de investigación, uno de los grandes beneficios de un manejo adecuado del estiércol del ganado, es evitar que los gases propios de la descomposición de la materia vayan a la atmósfera.

Esto es beneficioso aún más en cuanto al mercado de carbono existente, ya que un proyecto de este tipo puede ser negociado como un MDL o mecanismo de desarrollo limpio de captura de GEI a pequeña escala.

- **Biogas**

La producción de biogás depende de la actividad bacteriana de un biodigestor y esto a su vez refleja el estado en el que se encuentra el mismo, por este motivo se pueden considerar ciertas variables al momento de optimizar la producción de biogás en un digestor, esto se logra controlando y manteniendo una temperatura estable, controlando el pH del interior, mejorando las mezclas de alimentación (introduciendo materia vegetal para mejorar la relación C:N de la mezcla) y

homogenizando la materia orgánica al inicio y durante el proceso de digestión. El biogás es una mezcla de gases resultante de la actividad de las bacterias metanogénicas de la materia orgánica. Este representa alrededor del 10% del volumen de los sólidos orgánicos.

El biogás puede ser empleado como un gas combustible y su valor energético es de 6kWh/m^3 , es decir que 1m^3 de biogás equivale energéticamente a cerca de $\frac{1}{2}$ litro de combustible diésel y puede ser empleado para la generación de calor y/o electricidad para calderas, hornos, motores, estufas para cocción de alimentos, calentadores de agua, entre otros (Proaño, 2011, p. 12).

Tabla 30. Cantidades de biogás requeridas para varios usos

USO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD DE GAS REQUERIDO (m ³ /hr)
Cocina	Incinerador de 5cm	0,33
	Incinerador de 10cm	0,47
	Incinerador de 15cm	0,64
	Incinerador de 10 a 15cm	0,23 - 0,45
	por persona/día	0,34 - 0,42
Encendido de gas	por mant	0,7 - 0,8
Motor a gasolina o diésel (Basado en 25% de eficiencia)	Convertido a gas, por hp	0,45 - 0,51
Refrigerador	Por m ³ de capacidad	0,98 - 1,20
Incubador	Por m ³ de capacidad	0,5 - 0,7
Gasolina	1L	1,33 - 1,87
Combustible diesel	1L	1,50 - 2,07
Agua hervida	1L	0,11

Tomado de, Díaz y Janon, 2010, p. 284

En la *Tabla 30* se puede apreciar en detalle la diversa adaptabilidad de este recurso que puede variar y ser empleado, según las cantidades mencionadas anteriormente para diferentes usos cotidianos.

- **Biól o biofertilizante orgánico:**

La descomposición anaerobia de la materia orgánica animal (excretas), da como resultado un fertilizante orgánico líquido que conserva muchos de los nutrientes que son volátiles mediante digestión aerobia.

Este efluente orgánico es rico en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. La composición del biol varía según la materia prima q lo conforma.

Ciertos aspectos destacables del biol, son que no posee mal olor y no atrae moscas, en su descomposición se libera de patógenos, la viscosidad es reducida lo que facilita su manipulación y aplicación, tiene una mayor disponibilidad de nutrientes, mejora la cantidad y calidad de los cultivos.

El uso más eficaz de aplicación del biol es a manera de un efluente líquido, de esta manera se aprovecha más sus nutrientes a diferencia de biol compostado (con materia vegetal) o biol seco.

Se debe realizar diluciones del biol en agua antes de realizar una aplicación directa foliar o al suelo, ya que sus concentraciones altas de nitrógeno pueden ocasionar daños o quemaduras a las plantas, por esta razón el biol obtenido resulta a su vez más rendidor y se transforma de un coste a un beneficio económico, pues disminuye el gasto en fertilizantes químicos del mercado de un 70% a un 100%, además de mejorar la productividad y la calidad en los cultivos (Sistema de BioBolsa, 2012).

Las proporciones adecuadas de dilución del biol dependerán en gran parte del tipo de cultivo, ya que cada uno varía acorde a sus requerimientos en nutrientes, sin embargo, se recomienda como un referencia de aplicación para uso en suelo y para uso foliar, una dilución al 10%, es decir, por cada 10ml de biol puro, en 90ml de agua (www.tecnoagronomia.blogspot.com/2014/01/como-se-usa-el-biol.html, s.f)

Mediante la búsqueda de un manual para la aplicación en proporciones del biol, podemos conocer la dilución ideal según lo requiera cada tipo de cultivo. Un excelente manual técnico que brinda información completa se encuentra en el sitio web mencionado a continuación: www.sistemabiobolsa.com/wp-content/uploads/2013/08/Sistema-Biobolsa-Manual-del-BIOL-web.pdf.





Figura 58. Obtención de biol

RELACIÓN CON LA COMUNIDAD EXTERNA (En que se beneficiará la comunidad a la cual llega)

El manejo adecuado del estiércol evita la proliferación de malos olores, de moscas y vectores, además que disminuye la contaminación por gases a la atmósfera, evita la contaminación al suelo y a cuerpos de agua por exceso de nutrientes y bacterias como el *Echerichia Coli*, entre otras.

VENTAJAS DE LAS BPM

La limpieza en un establo, y por ende el manejo eficiente del estiércol, proporciona algunos beneficios:

- Reducción de enfermedades y problemas en las pezuñas de los animales y disminución en costes veterinarios
- La limpieza constante de los animales disminuye el tiempo de preparación para el ordeño
- Sesiones de ordeño limpias e higiénicas asegurando calidad de la leche.
- Disposición de un centro pecuario amigable con el ambiente mediante la reducción de emisiones de fosfato, amoníaco y metano
- Mejorar las condiciones de operación de los trabajadores en cuanto a higiene.
- El manejo eficiente del estiércol preserva el valor del fertilizante y del biogás, evitando incurrir en estos costes.

DESVENTAJAS DE LAS BPM

Algunos de los obstáculos con los que nos podemos encontrar al momento de implementar las Buenas Prácticas de Manejo del estiércol pueden ser:

<ul style="list-style-type: none"> • Falta de tecnología • Carencia de conocimiento en la utilización de la tecnología • Uso de mano de obra (debe ser capacitada) • Aumento de costos en una primera inversión y de mantenimiento
SISTEMA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS (Indicadores)
<p>Los resultados pueden medirse en base a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aspecto visual: disminución de los residuos (estiércol) no tratados. • Disminución de olores y moscas • Auto-abastecimiento de biofertilizantes • Auto-abastecimiento en biogás • Reducción/eliminación de la inversión anual destinada a uso de fertilizantes comerciales

TIPO DE PROYECTO
A) consultorías y servicios prestados a instituciones y organizaciones varias
B) desarrollo de proyectos de investigación aplicada o desarrollo experimental
C) desarrollo de proyectos de investigación pura
D) desarrollo de proyectos de investigación y tecnología
E) desarrollo de proyectos de ingeniería
F) desarrollo de proyectos ambientales
G) programas de formación de capital humano en pregrado, posgrado y formación continua
H) servicios de atención externa en salud, consultorios médicos, dentales, de fisioterapia, enfermería o similares
I) centros de desarrollo de emprendimiento e incubadora de empresas
J) centros de desarrollo e investigación específica en campos tecnológicos
K) desarrollo de inventos patentes y licencias
L) desarrollo de obras escritas y multimedia susceptibles de ser protegidas bajo derechos de autor y derechos conexos como libros, cuentos y revistas, material multimedia entre otros
M) programas de inserción de profesionales al mercado laboral
N) proyectos de asistencia social o filantrópicos a través de donaciones a organizaciones comunitarias personas o comunidades con fines no lucrativos

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

- Al realizar la investigación sobre la situación actual regional acerca de las emisiones de metano provenientes del manejo no adecuado del estiércol de ganado vacuno, y la comparación con una situación planteada posterior a una estrategia de mitigación al cambio climático, se pudo apreciar que los resultados obtenidos sobre el mejor manejo del estiércol y el aprovechamiento energético del mismo, proyectan resultados favorables económicos y ambientales, en base a los cuales se planteó un Programa de Mitigación al Cambio Climático para centros ganaderos de pequeña magnitud, basado en las Buenas Prácticas de Manejo del estiércol; los resultados son la disminución de la contaminación a los componentes ambientales, mejora de la salud y seguridad y también beneficios económicos reflejados en la disminución o eliminación de gastos en insumos como fertilizantes agrícolas.
- Al aplicar el método 1, denominado así en la metodología del IPCC para el cálculo de las emisiones de gas metano provenientes del manejo del estiércol de ganado, se logró estimar que, en la Región Interandina del Ecuador se emite anualmente 1923,03 Ton CH₄/año, lo cual equivale a 40383,63 Ton CO_{2eq} según el poder calorífico del metano que es de 21:1 en relación al CO₂. Vale recalcar que este cálculo de emisiones actuales fue realizado únicamente en base a los datos de ganado vacuno de la región, sin embargo, al considerar otros tipos de ganado que se suman a las emisiones procedentes del estiércol, este cálculo podría incrementarse al doble o al triple quizás.
- Se puso en marcha el biodigestor piloto y en base a este prototipo, se realizaron los cálculos pertinentes para estimar la captura de gas metano mediante el aprovechamiento de 10 kg del estiércol generado por cabeza de ganada bovino, este cálculo representó un 3% de eficiencia para la captura de emisiones, por lo que los resultados de emisiones capturadas obtenidos fueron de 55,9 Ton CH₄/año, lo que

equivale a la mitigación de 1173,92 Ton CO_{2eq}. En el caso de un aprovechamiento mayor de estiércol que podría ser de 40 a 50kg de estiércol por cabeza de ganado, los resultados incrementarían a un 50 o 60% de captura de emisiones.

- Tras realizar la geo-modelación estadística, se obtuvieron como resultados mapas temáticos que representan la situación actual de emisiones, donde las provincias de Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas encabezan la lista con mayores emisiones de CH₄ proveniente del estiércol, una vez realizado el geomodelamiento de un escenario planteado de mitigación al cambio climático, se logra apreciar la disminución de las emisiones y el cambio de categorías (Alta, Media, Baja y Muy baja) a la inmediata inferior de provincias como Santo Domingo de los Tsáchilas, Azuay y Cañar.
- Este escenario de mitigación al cambio climático, es aún más evidente si se observa el escenario planteado de una mitigación al cambio climático con una eficiencia del 40%, pues se debe tomar en cuenta que, el promedio de generación de estiércol de una cabeza de ganado vacuno puede variar entre 50 a 70kg/día y la eficiencia de un biodigestor puede aumentar de un 50 a un 75% si se aumenta la capacidad y se regula a una temperatura constante.
- El beneficio económico-ambiental a pequeña escala, es decir en pequeños centros ganaderos, se traduce a la disminución de costes económicos por adquisición de insumos como fertilizantes comerciales, mediante la gestión del estiércol y el aprovechamiento energético (biogás) y orgánico (biofertilizantes) de lo que usualmente se conoce como un residuo o desecho. A la misma vez que evitan la contaminación de cuerpos hídricos, suelo y se mejora la salud humana y del ambiente.
- El beneficio económico-ambiental a escala regional, es evitar la emisión de GEI a la atmósfera, lo cual es un beneficio no solamente local, sino global y por esta razón, el poder gestionar la captura de emisiones de un manejo adecuado del estiércol como MDL's (Mecanismos de Desarrollo Limpios) mediante los bonos de carbono, genera una rentabilidad

económica que dependerá de la eficiencia de captura de GEI y del valor de la Ton CO_{2eq} comercializadas.

- El programa de mitigación al cambio climático mediante el aprovechamiento de estiércol, para pequeños centros ganaderos, permite visualizar una alternativa viable sobre las Buenas Prácticas de Manejo del estiércol para evitar la contaminación a factores ambientales y obtener a cambio productos orgánicos requeridos en el sector agropecuario, donde el aprovechamiento de estos, disminuye costes económicos de una granja.
- Los resultados obtenidos en este proyecto de investigación, más que considerarse como un resultado final, deben tomarse en cuenta, por el contrario, como una línea base o un resultado inicial que se debe aplicar, a un proyecto de mitigación de emisiones mucho más amplio (por ejemplo tomando en cuenta otros de los tipos de ganado o considerando otra zona geográfica) que debería ser aplicado como una buena alternativa de manejo de estiércol en el sector ganadero, considerando sus beneficios ambientales y económicos.
- La implementación de políticas públicas que refieran a la gestión del estiércol en los centros ganaderos a nivel de municipios es fundamental para que el mercado de bonos de carbono represente aportes significativos a manera de ingresos económicos regionales o nacionales.
- A nivel de centros pecuarios de menor escala, en el que la cantidad promedio de existencias de cabezas de ganado varía entre 50 a 200, se puede implementar los biodigestores para el manejo del estiércol de manera sólida y de agua residual, donde los beneficios económicos se obtendrán en el reemplazo de compra y abastecimiento de fertilizantes químicos y GLP, lo cual representa altas inversiones mensuales; y en lugar de esto, se puede emplear el biol y el biogás resultante de la digestión anaerobia. O dado el caso de no requerir de estos recursos, pueden ser comercializados y obtener ganancias económicas sobre estos productos.

- En centros pecuarios de gran capacidad, los costes de inversión podrían ser mayores según la cantidad de estiércol de ganado que deba gestionarse para su aprovechamiento.

8.2 Recomendaciones

- En caso de implementar este tipo de medidas, debe realizarse un análisis más profundo a nivel parroquial o de granjas pecuarias, la información de granjas pecuarias no consta detalladamente en el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- Se recomienda ampliar el estudio de captura de metano a las zonas Litoral y Amazónica del Ecuador, ya que en ellas se encuentra la mayor concentración de ganado y el factor de emisión en clima cálido es mayor, por lo que se estima las emisiones de GEI podrían ser mayores.
- Se recomienda realizar este estudio analizando otros tipos de ganado, ya que en este proyecto de investigación se analizó la parte experimental de captura de emisiones únicamente con estiércol de ganado bovino.
- Al realizar el estudio de captura de gas metano en zonas cálidas, puede compararse con la metodología del IPCC para conocer si la mitigación de gas metano es mayor.
- Considerar que la digestión se realizó a temperatura ambiente, focalizándonos en generar una propuesta baja en costos, sin embargo se puede potencializar la propuesta si se considera adecuar una temperatura constante en los equipos, lo cual permita una producción de biogás mayor que la observada en los resultados del proyecto y constante.

REFERENCIAS

- (s.f.). Obtenido de <http://tecnoagronomia.blogspot.com/2014/01/como-se-usa-el-biol.html>
- Arciniegas, S. (2007). Curso de ARCGIS 9.3 - Iniciación en el Software. En S. Arciniegas.
- Bonilla, J. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático.
- Casas, M., Rivas, B., Soto, M., Segovia, A., Morales, H., Cuevas, M., y otros. (25 de Enero de 2009). *Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los digestores anaerobios en establos lecheros en la Cuenca de Delicias, CHIH.* Recuperado el 5 de Enero de 2014, de [http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/48604/2/\\$otoZapata-corregido2.pdf](http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/48604/2/$otoZapata-corregido2.pdf)
- Colque, T., y Sánchez, V. (Marzo de 2007). *Los Gases de Efecto Invernadero: ¿Por qué se produce el calentamiento global?* Recuperado el 16 de Febrero de 2013, de http://www.labor.org.pe/descargas/1ra%20publicacion_%20abc%20cc.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (Julio de 2011). *Manual de Usuario Módulo de Consulta del Censo General.* Recuperado el 18 de Septiembre de 2013, de http://190.25.231.237:81/censoSIG/doc/Manual_usuario_Modulo_Consulta_Censal.pdf
- Díaz, L., y Janon, C. d. (2010). *Reciclaje y Tratamiento Biológico de los Residuos Sólidos Municipales.* Quito: Ecuador.
- Environmental Protection Agency [EPA]. (2005). *Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases.* Recuperado el 9 de Junio de 2013, de http://www.globalmethane.org/documents/methane_analysis_fs_spa.pdf

- Flotats, X. (2011). Aprovechamiento energético de residuos ganaderos.
- Guerrero, C., Inga, E., y Samaniego, F. (Cuenca de Noviembre de 2011). *Optimización de un biodigestor en la depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino*. Recuperado el 15 de Mayo de 2013
- Hilbert, J. (24 de Julio de 2011). *Visita técnica a un establecimiento lechero que implemento un sistema de tratamiento y aprovechamiento de estiércol y producción de biogas*. Recuperado el 7 de Enero de 2014, de http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Finta.gob.ar%2Fdocumentos%2Fbiodigestor-en-establecimiento-lechero-en-idaho-estados-unidos%2Fat_multi_download%2Ffile%2FINTA%2520-%2520Biodigestor%2520en%2520e
- <http://tecnoagronomia.blogspot.com/2014/01/como-se-usa-el-biol.html>. (s.f.).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2012). *División Político Administrativa*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2013, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/division-politico-administrativa/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2010). *INEC*. Recuperado el 2 de Junio de 2013, de <http://redatam.inec.gob.ec/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CENEC&MAIN=WebServerMain.inl>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2010). *INEC*. Recuperado el 2 de Junio de 2013, de <http://redatam.inec.gob.ec/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CENEC&MAIN=WebServerMain.inl>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2013). Quito, Ecuador.
- Lorenzo, Y., y Obaya, C. (2005). *La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I*. Recuperado el 4 de Marzo de 2013, de REDALYC Sistema de

Información

Científica:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>

Mercados de Medio Ambiente. (28 de Mayo de 2013). *La Ton CO2 alcanza un precio récord en California*. Recuperado el 8 de Enero de 2014, de <http://www.mercadosdemedioambiente.com/actualidad/la-tonelada-de-co2-en-california-alcanza-un-precio-r-cord/>

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP]. (2012). *Censo de Población Bovina en el Ecuador*.

Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE]. (Enero de 2011). *Segunda Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático*. Recuperado el 17 de Febrero de 2013, de <http://derechosybosques.com/wp-content/uploads/2011/04/Segunda-Comunicacion-Nacional-sobre-Cambio-Climatico-1.pdf>

Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE]. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador*.

Morocho, M. (30 de Octubre de 2012). *Alternativas de Manejo para Reducir el Impacto Contaminante de las Excretas Bovinas en los Establos Lecheros*. Recuperado el 15 de Febrero de 2013, de <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/2111/1/17T1105.pdf>

Natura. (2010). *Las Vacas Contaminan con mas Dióxido de Carbono que los Autos*. Recuperado el 15 de Febrero de 2013, de <http://www.natura-medioambiental.com/2008/04/las-vacas-contaminan-con-ms-dixido-de.html>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2009). FAO. En H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, y C. d. Haan, *La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones* (pág. 89). LEAD.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2011). *Manual de Biogas*. Recuperado el 25 de 11 de 2013, de http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocomustibles/FAO/manual_biogas.pdf
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. (2001). Recuperado el 18 de Febrero de 2013, de <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. (2006). *VOLUMEN 4. CHAPTER 10. Emissions from Livestock and Manure Management*. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf
- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., y Tristán-Patiño, F. (Junio de 2012). *Impactos y Regulaciones Ambientales del Estiércol Generado por los Sistemas Ganaderos de algunos países de América*. Recuperado el 13 de Abril de 2013, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30223110004>
- Proaño, G. (Enero de 2011). *Optimización en la operación de un biodigestor a escala piloto y caracterización de productos y materia prima*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2013, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/999/1/100164.pdf>
- Rivas, Zúñiga, Sáenz y Guerrero. (30 de Junio de 2012). *REDALYC. PERSPECTIVAS DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE DE LA BIOMASA DEL ESTIÉRCOL DEL GANADO LECHERO EN LA REGIÓN CENTRO-SUR DE CHIHUAHUA*. Recuperado el 30 de Enero de 2013, de <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=14123097009>

Rodríguez, J., Rumbos, E., y Delepiani, A. (2008). *Resultados experimentales sobre la producción de biogas a través de la bora y el estiércol de ganado*. Recuperado el 25 de Junio de 2013, de http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at4704/arti/rodriguez_j.htm

Sandoval, J. A. (2013). Angie Recalde, Entrevistador. San Miguel de Nono.

Secretaria de Ambiente DMQ. (2011). *Inventario de Emisiones de Gases del Efecto de Invernadero en el Distrito Metropolitano de Quito*. Recuperado el 15 de Febrero de 2013, de http://www.quitoambiente.gob.ec/web/index.php?option=com_docman&ask=doc_download&gid=205&Itemid=59&lang=es.

Secretaría de Ambiente DMQ. (2012). *Plan de Acción Climático de Quito*. Quito.

Sistema de BioBolsa. (2012). *Manual del Biol*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2013, de <http://sistemabiobolsa.com/wp-content/uploads/2013/08/Sistema-Biobolsa-Manual-del-BIOL-web.pdf>

Universidad de Buenos Aires. (Julio de 2007). *La actividad ganadera. Vacas peligrosas*. Recuperado el 15 de Febrero de 2013, de <http://www.uba.ar/encrucijadas/41/sumario/enc41-vacaspeligosas.php>

Vidal, O. (2012). Interpretación de la noción de derivada como razón de cambio instantánea en contextos matemáticos. Bogotá, Colombia.

www.encyclopedia.airliquide.com, s.f. (s.f.). *Densidad del gas metano*. Recuperado el 19 de Octubre de 2013, de <http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia.asp?languageid=9&GasID=41&CountryID=19>

www.tecnoagronomia.blogspot.com/2014/01/como-se-usa-el-biol.html. (s.f.). *Tecno Agronomía*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2013, de <http://tecnoagronomia.blogspot.com/2014/01/como-se-usa-el-biol.html>