



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de los Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

**Medición de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas
de la periferia urbana sur de la ciudad de Loja.**

Trabajo de Titulación, previo a la obtención
del título de Ingeniero en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente

AUTOR

Jhandry Santiago Maza Yaguache.

DIRECTOR

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg.Sc.

Loja- Ecuador

2023

Certificación

Loja, 2 de marzo de 2023

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo. M.Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Medición de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas de la periferia urbana sur de la ciudad de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, de la autoría del estudiante, **Jhandry Santiago Maza Yaguache**, con cédula de identidad Nro. **1104421746**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Jhandry Santiago Maza Yaguache**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



C.I.: 1104421746

Fecha: 10 de noviembre de 2023

Correo electrónico: jhandry.maza@unl.edu.ec

Teléfono: 0968548107

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Jhandry Santiago Maza Yaguache**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Medición de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas de la periferia urbana sur de la ciudad de Loja**, como requisito para optar al título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia suscribo esta autorización, en la ciudad de Loja a los diez días del mes de noviembre de dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Jhandry Santiago Maza Yaguache

Cédula de identidad: 1104421746

Dirección: Loja, Antonio Canaleto y Miguel Ángel

Correo electrónico: jhandry.maza@unl.edu.ec

Teléfono: 0968548107

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo. Mg. Sc.

Dedicatoria

A Dios

Por darme salud, fortaleza y capacidad, al guiarme para completar mis estudios universitarios.

A mi madre

Por ser lo máspreciado en mi vida, siendo mi pilar fundamental de apoyo, ejemplo de inspiración y lucha para alcanzar mis objetivos.

A mis hermanos y familiares

A mis hermanos Edison, Bryon, Fabián, mis tíos Susana y Manuel, por estar conmigo en este largo recorrido académico, al aconsejarme y apoyarme en todo momento.

Jhandry Santiago Maza Yaguache

Agradecimiento

Primeramente, a Dios por guiarme día a día en este proceso académico y darme fuerza para seguir adelante ante cualquier adversidad.

Al personal docente de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja, por brindarme de sus conocimientos en este proceso de aprendizaje. Asimismo, quiero agradecer al ingeniero Vinicio Alvarado, Mg.Sc. Docente y Director del Trabajo de Titulación, por su apoyo incondicional durante el desarrollo de esta investigación, por los consejos y lecciones de vida impartidas, a los docentes vinculados a mi proyecto, deseándoles éxito en la culminación del mismo.

A mis familiares, amigos y compañeros, por apoyarme en este largo proceso académico, siendo agradecido con todos ustedes, los quiero, gracias.

Jhandry Santiago Maza Yaguache

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras	x
Índice de anexos	xi
1. Título	1
2. Resumen.....	2
Abstract	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico.....	6
4.1. Gases de Efecto Invernadero.....	6
4.1.1. Metano.....	6
4.1.2. Dióxido de carbono.....	7
4.1.3. Óxido Nitroso.....	7
4.2. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en actividades agrícolas y ganaderas.....	8
4.3. Técnicas de cuantificación de gases de efecto invernadero en suelos.....	8
4.3.1. Cámaras estáticas.....	9
4.4. Diseño de cámara estática cerrada.....	9
4.4.1. Condiciones que afectan las mediciones de GEI en suelos con cámara cerradas.....	9
4.4.2. Técnicas de diseño de cámaras estáticas cerradas en suelos.....	10
4.5. Sensores para la medición de gases de efecto invernadero en cámaras estáticas cerradas.....	11
4.5.1. Sensor MQ-135.....	12
4.5.2. Sensor MQ-4.....	12
4.5.3. Sensor MH-Z19B.....	12
4.6. Diseño de Dashboard.....	12

4.6.1.	Dashborad en Python	13
5.	Metodología	14
5.1.	Área de estudio.....	14
5.2.	Metodología para el primer objetivo: Levantar información de las características físicas, químicas y antrópicas del entorno en las áreas de estudio que incidirían en las emisiones de GEI.	15
5.3.	Metodología para el segundo objetivo: Determinar las concentraciones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O en las áreas de estudio mediante cámaras estáticas cerradas.	19
5.3.1.	Cuantificación de gases de efecto invernadero.	22
5.4.	Metodología para el tercer objetivo: Difundir a través de una página web los resultados obtenidos por medio de un dashboard y mapas especializados.	24
5.5.	Análisis estadístico.....	25
6.	Resultados	26
6.1.	Características físicas, químicas y antrópicas del entorno en las áreas de estudio que inciden en la medición de GEI.	26
6.2.	Determinación de las concentraciones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O a través de cámaras estáticas cerradas.....	29
6.2.1.	Variación diaria de CO ₂ en el suelo en intervalos de 2 horas.....	29
6.2.2.	Variación diaria de CH ₄ en el suelo en intervalos de 2 horas.....	32
6.2.3.	Variación diaria de N ₂ O en el suelo en intervalos de 2 horas.	35
6.3.	Diseño de dashboard.	38
6.3.1.	Construcción y validación.....	38
6.3.2.	Despliegue.....	39
6.4.	Análisis estadístico.....	40
6.4.1.	Concentraciones en función a la temperatura.	40
6.4.2.	Concentraciones en función a la humedad.	41
7.	Discusión.	44
8.	Conclusiones	49
9.	Recomendaciones	50
10.	Bibliografía	51
11.	Anexos	57

Índice de tablas

Tabla 1. Análisis de suelo considerados en la medición GEI.	15
Tabla 2. Medidas para el diseño de cámaras estáticas.	19
Tabla 3. Diseño de una dashboard.	25
Tabla 4. Análisis de las propiedades físicas del suelo.....	26
Tabla 5. Resultados de la textura del suelo.	26
Tabla 6. Resultados de la densidad aparente.....	26
Tabla 7. Resultados de la porosidad.....	27
Tabla 8. Resultados de la materia orgánica del suelo (método de calcinación).....	29
Tabla 9. Registro ganadero para ambos sectores	29
Tabla 10. Concentraciones de CO ₂ en intervalos de 2 horas mes diciembre.	29
Tabla 11. Concentraciones de CO ₂ en intervalos de 2 horas mes enero.	30
Tabla 12. Concentraciones de CH ₄ en intervalos de 2 horas mes diciembre.	32
Tabla 13. Concentraciones de CH ₄ en intervalos de 2 horas mes enero.	33
Tabla 14. Concentraciones de N ₂ O en intervalos de 2 horas mes diciembre.....	35
Tabla 15. Concentraciones de N ₂ O en intervalos de 2 horas mes enero.....	36
Tabla 16. Correlación de Concentraciones de los gases en función a la temperatura.....	40
Tabla 17. Concentraciones de los gases en función a la humedad.....	41

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio	14
Figura 2. Densidad aparente.....	17
Figura 3. Diseño de cámaras	20
Figura 4. Conexión de los circuitos.....	21
Figura 5. Quemado de sensores.....	22
Figura 6. Colocación de cámaras	23
Figura 7. MDE Loja.	28
Figura 8. Emisiones de CO ₂ diciembre	30
Figura 9. Emisiones de CO ₂ enero.....	31
Figura 10. Frecuencias de CO ₂	31
Figura 11. Distribución de las concentraciones de CO ₂	32
Figura 12. Emisiones de CH ₄ diciembre	33
Figura 13. Emisiones CH ₄ enero	34
Figura 14. Frecuencias de CH ₄	34
Figura 15. Distribución de las concentraciones de CH ₄	35
Figura 16. Emisiones N ₂ O diciembre.....	36
Figura 17. Emisiones N ₂ O enero.....	37
Figura 18. Frecuencias de N ₂ O	37
Figura 19. Distribución de las concentraciones de N ₂ O.....	38
Figura 20. Correlación temperatura	41
Figura 21. Correlación humedad.....	42

Índice de anexos

Anexo 1. Problema de Investigación.....	57
Anexo 2. Justificación	58
Anexo 3. Encuesta sector ganadero.....	59
Anexo 4. Resultados de análisis físicos y químicos sector Punzara	61
Anexo 5. Resultados de análisis físicos y químicos sector Capulí.....	63
Anexo 6. Toma de muestras y análisis de la DA.	65
Anexo 7. Fases de las cámaras.	65
Anexo 8. Dashboard.	66
Anexo 9. Tabla de almacenamiento de datos.	68
Anexo 10. Certificación de traducción del Abstract.	70

Acrónimos

AFOLU:	Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra.
CEPAL:	Cede Económica para América Latina y el Caribe.
CH₄:	Metano.
CO₂:	Dióxido de Carbono.
CO₂ eq:	Dióxido de carbono equivalente (medida universal para medir GEI).
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
GADM:	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal.
GEI:	Gases de Efecto Invernadero.
GND:	Definición clásica de tierra.
INEC:	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
INGEI:	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Ecuador.
IPCC:	Panel intergubernamental del Cambio Climático.
MAE:	Ministerio del Ambiente de Ecuador.
N₂O:	Óxido Nitroso.
OMM:	Organización Meteorológica Mundial.
PVC:	Policloruro de Vinilo.
SCL:	Línea por donde se transmite la señal de reloj del sistema.
USB:	Bus Universal en Serie.
USCUSS:	Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura.
VCC:	Voltaje y Corriente

1. Título

Medición de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas en la periferia urbana sur de la ciudad de Loja.

2. Resumen

El suelo libera grandes cantidades de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que han repercutido directamente en el cambio climático. La presente investigación se realizó con la finalidad de cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero a través de cámaras estáticas cerradas adaptadas a sensores, con el propósito de determinar las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) por emisiones en suelos en fincas ganaderas de la periferia sur de la ciudad de Loja. Las cámaras se colocaron en Punzara Alto y Capulí donde se hicieron análisis físicos, químicos y antrópicos que incidían en las mediciones, que en conjunto a sensores como MQ-4 (CH₄), MQ-135 (N₂O) y MH-Z19B (CO₂) registraron muestras cada minuto y se tomaron intervalos de dos horas, los resultados se visualizaron a través de un dashboard interactivo generado en Python. Las mayores concentraciones se evidenciaron en el mes de diciembre del 2022, donde los registros más altos de dióxido de carbono se registraron en Punzara con una media de 788,22 ppm de CO₂, este mismo lugar presentó un elevado contenido de materia orgánica (MO) (13,41 %), donde también se registró una concentración media de 0,43 ppm de N₂O como el valor más alto, por otro lado, el sector Capulí presentó las mayores concentraciones de metano con una media de 4,60 ppm de CH₄. Así también, estas mediciones establecieron que las concentraciones de CO₂ oscilan entre 200-400 ppm, mientras que las concentraciones de CH₄ varían entre 0-2 ppm y las concentraciones de N₂O repercuten entre 0-0,1 ppm, estableciendo registros bajos para cada uno de los gases.

Palabras clave: Gases de Efecto Invernadero (GEI), cambio climático, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), sensores, materia orgánica (MO) y dashboard.

Abstract

The soil releases large amounts of Greenhouse Gases (GHG) that have a direct impact on climate change. The present investigation was carried out with the purpose of quantifying greenhouse gas emissions through closed static chambers adapted to sensors, with the purpose of determining the concentrations of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) due to soil emissions in cattle farms on the southern outskirts of the city of Loja. The cameras were placed in Punzara Alto and Capulí where physical, chemical and anthropic analyzes were carried out that affect the measurements, which together with sensors such as MQ-4 (CH₄), MQ-135 (N₂O) and MH-Z19B (CO₂) samples were recorded every minute and intervals of two hours were taken, the results were visualized through an interactive dashboard generated in Python. The highest concentrations were evidenced in the month of December 2022, where the highest records of carbon dioxide were recorded in Punzara with an average of 788,22 ppm of CO₂, this same place presented a high content of organic matter (OM) (13,41 %), where an average concentration of 0,43 ppm of N₂O was also registered as the highest value, on the other hand, the Capulí sector presented the highest concentrations of methane with an average of 4,60 ppm of CH₄. Likewise, these measurements established that the CO₂ concentrations oscillate between 200-400 ppm, while the CH₄ concentrations vary between 0-2 ppm and the N₂O concentrations have an impact between 0-0,1 ppm, establishing low records for each of the gases.

Keywords: Greenhouse Gases (GHG), climate change, carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), sensors, organic matter (OM) and dashboard.

3. Introducción

La medición de gases de efecto invernadero (GEI) se ha convertido en un tema de gran relevancia para el medio ambiente ante la amenaza del cambio climático (Díaz, 2012), desde el período 1880-2012 la temperatura ha aumentado $0,85^{\circ}\text{C}$ y con ello la necesidad por mejorar la medición de flujos de gases emitidos a la atmósfera (CEPAL, 2020). Al existir múltiples fuentes responsables de la emisión de GEI, según la FAO el sector AFOLU (Agricultura, Ganadería, Forestación y otros Usos del Suelo) ha registrado un incremento del 130% en los últimos 50 años solo en el Caribe y América Latina (Calle, 2015). Sin embargo, la medición de estos gases requiere de técnicas confiables que se ajusten al campo a evaluar por las diferentes variaciones que se pueden presentar en la manipulación e interpretación de los datos.

La estimación de los gases de efecto invernadero en el sector ganadero depende de la evaluación directa del suelo, por ende, existen diversos sistemas para la medición de los gases desde técnicas micro meteorológicas hasta modelamiento matemático, algunos de estos conocidos como “métodos convencionales”, mismos que, requieren tiempo, recursos y experiencia (Norman et al., 1997; Davidson et al., 2002; Xu et al., 2006; Heinemeyer y McNamara, 2011). Esto ha generado la búsqueda de alternativas viables para los investigadores, como el diseño de cámaras estáticas, técnica que sirve para la medición de flujos de GEI en zonas ganaderas, con un uso de estudio de 30 años y una representación del 95% en las investigaciones para medición de GEI producidos desde el suelo (FAO , 2015).

De la variedad de cámaras, la cámara estática cerrada es la opción más conocida, viable y práctica dentro de la medición de GEI, evalúa de forma directa la relación con el suelo, las variaciones en el mismo u otros aspectos, debido a que al momento de la instalación la heterogeneidad del suelo, los cambios ambientales dentro de la cámara y las condiciones meteorológicas de la zona de estudio pueden generar perturbaciones en la medición y modificar el resultado (Arenas, 2016). Al existir un posible sesgo en los datos por estas condiciones los investigadores han trabajado en mejoras para minimizar estos errores sugiriendo aspectos técnicos como: colocar ventilación, mejorar las dimensiones de los tubos, seleccionar un buen tipo de material, proponer medidas de colocación en el suelo según su textura, entre otros (Davison et al., 2012). Pese a esto, las variaciones dentro de la cámara son inevitables, por lo que aplicar un control de estas condiciones requiere de tiempo y material lo cual no es viable para la investigación, por esta razón se han buscado alternativas de apoyo donde la adaptación a los sistemas automatizados ha sido una opción confiable al contar con módulos adecuados con sensores especializados tanto en la medición de gases como en las variaciones dentro de la

cámara midiendo temperatura, humedad, presión, etc, minimizando el sesgo y generando lecturas confiables en el resultado (Guijarro, 2018).

En nuestro país el sector agrícola y ganadero se ubica como el tercer campo en la producción de GEI con un 18,17% (MAE, 2017). Los principales gases que más se evidencian son el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso debido a las diferentes actividades como la “Fermentación entérica” (85,54%), “Cultivo de arroz” (11,34%), uso de suelos agrícolas (97,14%), manejo de estiércol y quema de residuos agrícolas (MAE, 2016). Por otro lado, en la ciudad de Loja no existe un inventario exacto de la estimación de los gases de efecto invernadero a pesar de que cuenta con un registro de las personas que se dedican a la agricultura y ganadería, donde el 75% representa a las zonas rurales y el 25 % al casco urbano (GADM Loja, 2014).

Ante la gran necesidad de generar ingresos económicos y el aumento de la población, el incremento en la producción de recursos es un hecho, lo que causa un impacto negativo en el medio ambiente ya que emanan gases por las actividades agrícolas-ganaderas y se desconoce el grado en que estos gases están incrementando la concentración de gases de efecto invernadero en nuestra ciudad. Sin embargo, según Ortiz 2023, en su estimación indirecta GEI valuó que en ciudad de Loja en la parte suburbana las principales fuentes de emisiones de gases son: gestión de estiércol 1,95%, fermentación entérica con un 98,05% en contribución a la producción de CH₄ y la gestión de gallinaza con una estimación de 6 659,74 kgCO₂eq, esto se determinó a través de modelamiento matemático y afirmar esta información requiere de metodologías de medición en campo.

Dicho esto, esta investigación pretende cuantificar las emisiones de los gases de efecto invernadero a través de cámaras estáticas cerradas con la finalidad de determinar las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), en el área ganadera al sur de la ciudad de Loja.

Con los resultados obtenidos en este estudio se pretende contribuir con información para el proyecto: *“Gestión de Gases de Efecto Invernadero en el sector AFOLU a escala sub-urbana en la ciudad de Loja-Ecuador”*, además, sirva de apoyo a futuras investigaciones en diferentes campos de aplicación y localidades, dando respuesta a la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son las cantidades de CO₂, CH₄ y N₂O emitidas a la atmósfera por las actividades ganaderas en la periferia urbana al sur de la ciudad de Loja?

Así el presente trabajo de investigación tiene la finalidad de:

Cuantificar emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O en la zona ganadera de la periferia urbana sur de la ciudad de Loja a través de cámaras estáticas cerradas.

Objetivos específicos

- Levantar información de las características físicas, químicas y antrópicas del entorno en las áreas de estudio que incidirían en las emisiones de GEI.
- Determinar las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O en las áreas de estudio mediante cámaras estáticas cerradas.
- Difundir a través de una página web los resultados obtenidos por medio de un dashboard y mapas especializados.

4. Marco teórico

4.1. Gases de Efecto Invernadero.

Los gases de efecto invernadero (GEI) se encuentran en la atmósfera como naturales y antropogénicos, estos absorben y emiten radiación a grandes longitudes de onda del espectro emitido por la superficie de la Tierra (Calderón, 2012). Los principales GEI emitidos por actividades antropogénicas a escala mundial son el *dióxido de carbono* (CO₂) generado por la combustión de combustibles fósiles, el *metano* (CH₄) producido por putrefacción de la materia orgánica, el *óxido nitroso* (N₂O) resultado de diversas actividades de manejo de tierras agrícolas y la quema de biomasa, que a grandes cantidades se mezclan con otros compuestos (halocarbonos) y causan deterioro de la capa de ozono (Montzka et al., 2011).

4.1.1. Metano.

El metano (CH₄) es un gas de la familia de los alcanos considerado el segundo compuesto que más contribuye al efecto invernadero producto de la descomposición de materia orgánica (Manrique, 2014). Es un gas incoloro, inodoro, insoluble en agua y de menor densidad que el aire, permanece una media de 12 años en la atmósfera teniendo un potencial 28 a 32 veces mayor que el CO₂ (en un horizonte de 100 años). En el suelo, la metanogénesis (proceso anaeróbico responsable de producir CH₄) y la metanotrofia (responsable de la oxidación del gas) son dos de los procesos microbianos en los que se encuentra al metano en este medio físico y depende de cual desempeñe un papel preponderante para hacer del suelo una fuente o sumidero de metano, donde su producción comienza por la reducción de todo el oxígeno molecular y los diferentes grupos de bacterias metanogénicas empiezan a producir CH₄ a partir

de diferentes substratos (Calle, 2015). En los sistemas biológicos la fuente más importante de metano es la descomposición de materia orgánica por actividades como:

1. Las actividades agrícolas relacionadas con la fermentación entérica resultado del proceso digestivo de algunos animales, la descomposición anaerobia del estiércol producido por especies pecuarias, el cultivo de arroz y desechos agrícolas. Estas actividades, representan el 44 % de las emisiones de metano (IPCC, 2016).
2. Disposición de residuos sólidos y tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas e industriales.

4.1.2. Dióxido de carbono.

El dióxido de carbono (CO_2) es considerado un gas traza esencial para la vida que, dentro del ciclo natural del carbono cumple con procesos biológicos muy importantes al ser producido en el suelo durante la actividad microbiana y la respiración en las raíces de las plantas (Muñoz M et al., 2021). Sin embargo, debido a las intervenciones humanas es considerado el GEI que genera mayor impacto en el calentamiento global por su persistencia en la atmósfera (20-200 años), esto producto del consumo de combustibles fósiles, leña, tala de árboles, quema de bosques, entre otros (Fort, 2012). Dentro del ciclo del carbono (C) el CO_2 es el más influyente al ser liberado a la atmósfera por procesos de difusión, una porción de este es fijado por la fotosíntesis y se almacena en el suelo como materia orgánica, el cual se convierte en sustrato para los microorganismos, oxidando el C en el suelo a CO_2 (Orjuela, 2018). Por lo tanto, es necesario hacer énfasis en que la principal fuente de emisiones de CO_2 en la atmósfera son los procesos erosivos y oxidativos asociados a las prácticas y cultivos agrícolas que alteran el balance de C y N orgánico del suelo a largo plazo, estas actividades denominadas AFOLU representan un 13 % de las emisiones de CO_2 (IPCC, 2016).

4.1.3. Óxido Nitroso.

El óxido nitroso (N_2O) es un gas de efecto invernadero proveniente del suelo debido a sus procesos microbiológicos de nitrificación y desnitrificación. En el primero las fuentes de nitrógeno llegan al suelo como urea, sulfatos o materia orgánica y es aprovechado por grupos de bacterias transformando este compuesto en N-amoniaco donde intervienen las bacterias Nitrosomas que oxidan este amonio (NH_4) a nitritos (NO_2^-) y luego actúan las bacterias Nitrobacter que se encargan de oxidar el nitrito a nitratos (NO_3^-) (Rincón & Gutiérrez, 2012). Por otro lado, la desnitrificación realiza una reducción bioquímica en condiciones anaerobias donde se reducen los nitratos usando la molécula como aceptor de electrones debido a los grupos de bacterias Pseudomonas, Nitrobacter y Nitrosomas obteniendo como producto el

óxido nitroso y el nitrógeno molecular (N_2) (Saldaña, 2014). A nivel mundial, las actividades agrícolas son las principales fuentes de emisiones de N_2O del suelo representando el 81 % pero, a escala de todos los GEI contribuye un 6 % con un grado de incertidumbre alto debido a que posee un potencial de calentamiento atmosférico 300 veces mayor a las emisiones de CO_2 , considero un gas que a la larga se convertirá en un gran problema no solo por su impacto sino, por su persistencia (114 años en la atmósfera) y tiene una gran fuente de producción que es el suelo (Alava, 2022).

4.2. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en actividades agrícolas y ganaderas.

El aumento de la población en las zonas urbanas significó una mayor dependencia del campo para la producción de alimentos (Romero et al., 2006), por lo que desde el siglo XVIII la agricultura y la ganadería se han industrializado, influyendo en la cantidad de contaminantes (GEI) generada por este sector (Pradhan et al., 2017). Las emisiones de GEI tienen como fuentes el cambio de uso del suelo que altera su composición, los procesos digestivos de los animales de granja y los nutrientes o fertilizantes utilizados en la agricultura (Fong et al., 2014). El Ministerio del Ambiente del Ecuador (2016), menciona las actividades en las que se generan GEI en el sector agropecuario, estas son el cultivo de arroz, la fermentación entérica, la quema de residuos agrícolas, el manejo de estiércol y suelos agrícolas.

Las emisiones de AFOLU entre 2010-2017 aumentaron un 2% (Svensson et al., 2021), América Latina representa el 7% de la generación global de GEI, de los cuales el 40% proviene del sector AFOLU (Calvin et al., 2016), aunque, entre 1990-2015 hubo una reducción de GEI del 57% por unidad de cultivo y del 61% por unidad ganadera ganado (Saravia-Matus et al., 2019), en Ecuador el sector agropecuario es el tercer emisor de GEI con el 18,17% del total emisiones (MAE, 2017).

4.3. Técnicas de cuantificación de gases de efecto invernadero en suelos.

La cuantificación de GEI ha sido adaptada a varias técnicas que sean accesibles y económicamente viables a los usuarios, ya que muchas de estas requieren costos elevados, tiempo y experiencia (Mejía, 2017). La aplicación de estas metodologías repercute en el campo a realizar la medición, por ejemplo, para el sector agrícola el uso de inventarios, proyecciones y modelos matemáticos son opciones factibles, aunque también existen otros métodos como la cromatografía de gases o el uso de cámaras estáticas las cuales serán utilizadas en esta investigación por ende se da a mención a continuación:

4.3.1. Cámaras estáticas.

Esta técnica consiste en medir la cantidad total de gases producidos por animales en un determinado periodo de tiempo ya que, analiza la concentración de gases como CH₄, CO₂ y N₂O gracias a un flujo de aire que circula en la cámara lo que permite regular las condiciones de temperatura y humedad (López et al., 2020). Sin embargo, la toma de muestras va estar determinada por estas mismas condiciones debido a que pueden presentar un sesgo en la cuantificación de los datos (UBA, 2019).

Las cámaras estáticas se las puede diseñar de dos tipos en forma de cilindro o de forma rectangular donde la primera ocupa material de PVC y los lineamientos para su elaboración están determinados por revisión bibliográfica al igual que las cámaras de forma rectangular que si bien también se basa en este criterio el material para su elaboración es el aluminio con tapas herméticas cerradas envueltas de papel de este mismo material (Vílchez, 2017).

4.4. Diseño de cámara estática cerrada.

Como ya se mencionó anteriormente, esta técnica sirve para la medición de flujos de GEI en zonas agrícolas debido a que tiene un uso de estudio de 30 años y representa un 95% de las investigaciones para medición de gases (FAO , 2015). Esta técnica consiste en cubrir con una cámara cerrada y hermética el área determinada de evaluación permitiendo el intercambio de gas entre el suelo que cubre la cámara y la atmósfera dentro de esta, las muestras se toman en intervalos de 10 a 20 minutos, luego se cuantifican para calcular la tasa de flujo (Rodríguez C. , 2021). En este caso la medición de los gases es cuantificada por medio de Arduino.

4.4.1. Condiciones que afectan las mediciones de GEI en suelos con cámaras cerradas.

Las mediciones de GEI en cámaras cerradas están determinadas por las diferentes condiciones que se pueden presentar al momento de la toma de muestras e influye de manera directa ya que, al instalar la cámara la variabilidad espacial o área de estudio puede presentar errores debido a que en el interior de la cámara hubo cambio de temperatura, humedad, presión e inclusive alteración en la mezcla de gas por lo que se debe tener un cuidado al momento de muestrear (Rodríguez G. S., 2021).

- **Temperatura:** El efecto de esta condición sobre las mediciones de GEI se debe a la influencia que tiene esta variable en la actividad biológica del suelo reflejados en los procesos de respiración o la biodegradación de la materia orgánica, por ende, es importante mantener la temperatura dentro de la cámara para evitar errores (Cumpa, 2017).

- **Presión:** Esta condición está determinada por el ingreso de viento a la cámara, mismo que genera un efecto de expansión o contracción lo que altera el gradiente de difusión del gas dentro de la cámara y produce un sesgo en las muestras, por lo que se recomienda ubicar cuidadosamente al instrumento al momento de la instalación (Sánchez, 2020).
- **Perturbaciones del suelo:** La instalación de las bases de las cámaras puede generar ciertas perturbaciones en el suelo, mismas que son necesarias para asegurar que no exista errores en la medición de los gases por difusión lateral (Hernández, 2018). Hutchinson y Livingston (2001) mostraron que 2,5 cm de profundidad de inserción es suficiente para limitar esta fuente de error en los flujos simulados de suelos de baja porosidad moderada es decir suelos con textura fina y húmedos, para suelos muy porosos se requiere 9 cm de profundidad.
- **Variaciones Espacio-Temporales:** Los procesos físicos, químicos y biológicos en el suelo que están involucrados en la emisión de GEI se dan a diferentes escalas y el efecto de las variables ambientales muestra cierto grado de complejidad al momento de su descripción, por lo cual es importante la toma de muestras en un tiempo-espacio determinado ya que, no es lo mismo tomar una muestra al mediodía que otra en la noche (Calle, 2015). Por esta razón, se debe tomar en consideración el tiempo y las condiciones climática, asimismo, determinar el área de estudio, misma que muestra la variabilidad del espacio que rige por el diseño del experimento que para evitar errores se debe colocar un mínimo de dos cámaras estáticas por cada parcela de estudio (Lewczuk, 2017).

4.4.2. Técnicas de diseño de cámaras estáticas cerradas en suelos.

Las técnicas de muestreo para las cámaras estáticas varían desde los métodos convencionales a los alternativos por los altos costos que presta realizar la cuantificación de los gases (Arias & Navarro et al., 2013). En cámaras estáticas cerradas existen dos tipos de muestreos comunes; el convencional y “Gas Pooling”, sin embargo, el primero requiere gastos elevados en el material, como también en los análisis a diferencia del segundo tipo de muestreo que te ahorra el material, no obstante, la aplicación de cromatografía de gases representa un gasto desmesurado (Calle, 2015). Por esta razón, se busca métodos alternativos que sean económicamente viables y de fácil manejo, dicho esto, a continuación, se da a mención la técnica a utilizar en este proyecto:

- **Sistemas automatizados:** El uso de métodos convencionales puede generar un elevado costo al momento de su aplicación por lo que la búsqueda de métodos alternativos representa un alcance importante dentro de las mediciones de GEI (Arbeláez &

Acevedo, 2011). Actualmente, el uso de sensores es una de las opciones más factibles poco aplicada, sin embargo, tiene un bajo costo y fácil aplicación en campo e incluso su diseño en casa, al ser material comercial que se puede armar en el hogar o su adquisición del equipo específico para los gases a evaluar. Estos sensores a diferencia de los demás métodos permiten un mayor número en la toma de muestras en intervalos de una hora (Gagnona et al., 2016).

4.5. Sensores para la medición de gases de efecto invernadero en cámaras estáticas cerradas.

La aplicación de sensores es una metodología alternativa ante los altos costos en el análisis de gases a través de los métodos convencionales, consiste en el uso de un medidor de gases con Arduino el cual porta de una placa electrónica con un microcontrolador que tiene la capacidad de conectar una serie de sensores para la medición de GEI en intervalos de tiempo (1 hora) con un sesgo que dependerá de las diferentes características que influyan dentro de la cámara (Burbano, 2016). Estos sensores almacenan la lectura de los datos dentro de su sistema para lo cual se puede utilizar un portador USB para la extracción de los mismos a través de un código de visualización de las diferentes concentraciones de los gases evaluados (Marrón SLA, 2020).

Estos sensores son electroquímicos y su resistencia varía cuando se exponen a ciertos gases, en su interior poseen un calentador que se encarga de aumentar la temperatura interna y con esto haya una reacción con los gases provocando un cambio en el valor de la resistencia (Collado, 2019). El calentador depende del modelo y puede llegar a necesitar un voltaje entre 5 a 2 V, el sensor se comporta como una resistencia y necesita una RL (resistencia de carga) para cerrar el circuito y con este hacer un divisor de tensión y poder leerlo desde un microcontrolador. Es necesario esperar un tiempo para que se caliente, así la salida sea estable y cumpla con las características que el fabricante establece en su datasheet, dicho tiempo depende del modelo que varía entre 12 o 48 horas (Pinto, 2015). Generalmente, los sensores de la serie MQ se encuentran en módulos, lo que nos simplifica la parte de conexiones y nos facilitan su uso, solo basta con mantener el módulo y empezar a hacer las lecturas en el sensor, estos módulos también tienen una salida digital la cual internamente trabaja con un mecanismo denominado “comparador” y con la ayuda de un potenciómetro se puede calibrar el umbral y así interpretar la salida digital a modo presencia o ausencia del gas (Navarrete & Soto, 2020).

Existen varios sensores para la medición de GEI mismos que están determinados para el funcionamiento de un gas en específico, a continuación, se hará mención al uso de estos según los gases propuestos en esta investigación:

4.5.1. Sensor MQ-135.

El sensor MQ-135 es uno de los más utilizados y aplicables por su variedad en medición de gases, alcohol, benceno, humo, entre otros, en especial para el análisis de dióxido de carbono y óxido nitroso (Abbas et al., 2020). Este sensor consiste de un producto comercial de la serie MQ de amplio rango de detección con un circuito sencillo de alta sensibilidad de rápida respuesta, el equipo es estable y de larga duración por lo que nos permitirá tomar muestras en intervalos de una hora (Gonzalo, 2020). Es muy eficiente para el análisis de CO₂ y N₂O ya que permite su medición continua con los sistemas instalados permanentemente (4 pines).

4.5.2. Sensor MQ-4.

Este componente tiene un gran potencial de aplicación al ser uno de los primeros sensores utilizados en esta metodología para la medición de gases. Es un detector de alta sensibilidad de la serie MQ con un circuito de accionamiento sencillo de respuesta rápida y una detección de larga duración lo que permite la toma de muestras en periodos de 1 a 4 horas por lo que también tiene un largo periodo de vida y uso específico para el análisis de metano (Correa & Zavala, 2019).

4.5.3. Sensor MH-Z19B.

El MH-Z19B, es un módulo (sensor) de gas infrarrojo que permite detectar la presencia de CO₂ en el aire. Este sensor tiene un rango de detección que va de 0 a 5000 ppm, también posee dos salidas mediante UART y PWM. El sensor comercial de la serie MH-Z19B es de tamaño pequeño y utiliza el principio de infrarrojos no dispersivos (NDIR). Está compuesto por una pequeña cámara en la parte interna donde el gas es sometido a luz infrarroja, el CO₂ absorbe determinada longitud de onda en el haz de luz IR de acuerdo a la concentración del gas, el sensor mide la diferencia dentro de esta longitud de onda, entregando la concentración de CO₂ en partes por millón (ppm) (Latha et al., 2016).

4.6. Diseño de Dashboard.

Es un mecanismo de representación visual donde se presenta información de forma organizada y consolidada con un alcance relevante e importante también conocido como tablero de control (Martínez, 2017). Esta herramienta es utilizada para el análisis, monitoreo y seguimiento de diferentes actividades o procesos que se realicen en las empresas o en determinadas áreas de trabajo (Portilla, 2021). Existen varios tipos de programas en los que se puede proyectar un dashboard (Alteryx, Microsoft Power BI, Microsoft Excel (Power Query), Qlik, Tableau y Python o R); sin embargo, el uso de Python representa un enfoque viable al tener un lenguaje de programación con una sintaxis muy limpia y un código legible (González R., 2015).

4.6.1. Dashborad en Python

El diseño de los dashboard determina la información de una actividad de estudio donde el uso de programas capaces de proyectar estos datos es fundamental. El manejo de Python permite tener una mayor proyección por sus librerías y aplicaciones que integran un lenguaje para desplegar información en tableros y gráficas de manera sencilla e interactiva (Vogel, 2017).

A continuación, se muestra algunas librerías utilizadas en Python para el desarrollo de dashboards:

- **Holoviz:** esta librería permite crear una mejor alternativa de visualización en Python y un panel interactivo con código de este mismo programa de manera flexible y fácil.
- **Dash:** considerada una de las mejores herramientas para crear Dashboards y aplicaciones web interactivas. El Dash (de plotly) permite crear paneles de control interactivos y aplicaciones web a los usuarios utilizando el programa Python permitiendo crear una gran variedad de diseños.
- **Voilà:** ayuda a convertir un Jupyter Notebook (software de código abierto, servicios para computación y estándares abiertos) en un panel interactivo y también es fácilmente personalizable.
- **Flask:** esta librería permite desplegar aplicaciones interactivas en la web con Python, posee varias plantillas y hace más dinámica la información.

5. Metodología

El presente estudio tiene un alcance descriptivo de tipo no-experimental que cuantifica la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero de CO₂, CH₄ y N₂O producto de las actividades ganaderas en la periferia urbana sur de la ciudad de Loja. Al tener un enfoque cuantitativo se hizo un reconocimiento de las áreas de estudio para la toma de muestras aplicando el método de uso de cámaras estáticas cerradas desarrolladas con material reciclable según los lineamientos del proyecto de investigación “Gestión de gases de efecto invernadero en el sector AFOLU en la periferia urbana de la ciudad de Loja” considerando aspectos físicos (suelo; textura, porosidad, estructura), químicos (materia orgánica), topográficos a través de modelos digitales (mapas de pendientes) y antrópicos (introducción de ganado), para su posterior análisis del flujo de los gases con la finalidad de mostrar las concentraciones de estos en las diferentes áreas de estudio y así poder ser difundidos a la colectividad en una página web aplicando un dashboard interactivo a través de gráficas y mapas especializados.

5.1. Área de estudio.

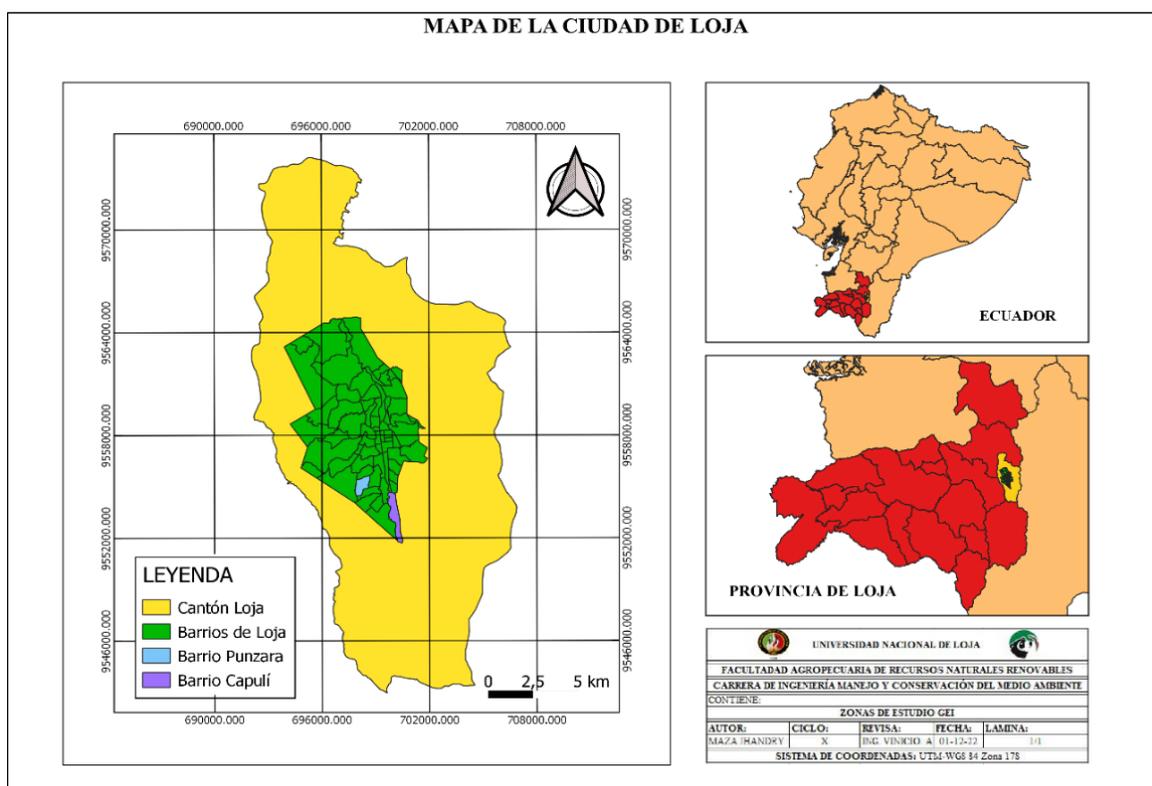


Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio.

El área de estudio de esta investigación se ubica en la zona sur de la ciudad de Loja en los sectores de Punzara y Capulí mismos que se encuentran ubicados en la zona que conforma las coordenadas 03° 39' 55" y 04° 30' 38" de latitud Sur (9501249 N - 9594638 N) y, 79° 05' 58" y 79° 05' 58" de longitud Oeste (661421 E -711075 E), con una superficie de 1869 km² y un

relieve muy irregular con elevaciones que van desde los 700 hasta los 3700 m.s.n.m., la urbe se encuentra entre los 2100 y 2135 m.s.n.m (Municipio de Loja, 2014). La ciudad de Loja tiene un tipo de clima Ecuatorial Mesotérmico Semi – Húmedo con una precipitación media anual de 950 mm, una temperatura media de 17 °C y una humedad relativa media del 75 %, con variaciones entre el 69 % y 83 % (Municipio de Loja, 2021).

5.2. Metodología para el primer objetivo: Levantar información de las características físicas, químicas y antrópicas del entorno en las áreas de estudio que incidirían en las emisiones de GEI.

Existen varios aspectos que inciden sobre las emisiones de gases de efecto invernadero ya sea por sus características físicas, químicas y antrópicas.

Físicas

- **Propiedades del suelo:**

Tabla 1. Análisis de suelo considerados en la medición GEI.

Indicador	Método	Fórmula
Estructura	Observación	
Textura	Bouyoucos	
Densidad real (Dr)	Picnómetro	
Densidad aparente (Da)	Cilindro Da 100 cm ³	
Porosidad		$(1-Da/Dr) * 100$

Nota: Los análisis en laboratorio de cada uno de los indicadores fueron determinados por el protocolo de la Universidad Nacional de Loja mismo que se basa en la Guía de Prácticas LASAB 2013 la cual consta de 35 hojas y determina metodologías de análisis físico-químico de suelos, aguas y bromatología, por lo que cada uno de esos indicadores se ejecutaron en el laboratorio de suelos de la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables de la UNL y el laboratorio de la Agencia de Regulación y Control, Fito y Zoonosanitario (Agrocalidad).

- **Estructura:**

La estructura del suelo hace referencia a los agregados y las fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo) que se pueden encontrar en el suelo (Maldonado, 2016). Para su análisis se hizo la prueba de fragmentación se tomó una muestra y se la dejó caer dos veces a una altura de 1,5 m hacía una cubeta, se observó la formación de los terrones para luego transferirlos a una funda Ziploc distribuimos los agregados de grandes a pequeños, comparamos con la tabla de estructuras y valoramos con el tipo de consistencia del suelo (CV=2 buena, CV=1 moderada y CV=0 mala).

- **Textura:**

La textura del suelo es una propiedad física que define la proporción de las partículas menores a 2 mm como las arenas, limos y arcillas (Pellegrini, 2019). Para determinar la textura de las áreas de estudio se aplicó el método de Bouyoucos que consiste en definir el contenido de arena,

arcilla y limo presente en el suelo, las muestras fueron seleccionadas de 2 parcelas de 4 x 25 m, se tomaron dos muestras disturbadas de 200 gramos por cada parcela, mismas que fueron trasladadas en bolsas Ziploc al laboratorio de suelos, foliares y aguas de la Agencia de Regulación y Control, Fito y Zoosanitario (Agrocalidad) para su respectivo análisis siguiendo el método interno “PEE/SFA/20” pesando las muestras, agitándolas, utilizando el hidrómetro, midiendo la temperatura inicial y una final 2 horas después de la sedimentación para su posterior cálculo tomando en consideración la tabla de calibración según el factor de corrección (0,36 °C) y aplicando las siguientes fórmulas:

Cálculo del % de arena en suspensión:

$$\% \text{ Arena } (A_o) = 100 - (\% \text{ Limo } + \text{ Arcilla})$$

$$\% \text{ Arena } (A_o) = 100 - (\text{Primera lectura Corregida} \times 2)$$

Con la segunda Lectura Corregida se obtiene el % de Arcilla:

$$\% \text{ Arcilla } (A_c) = \text{Segunda Lectura Corregida} \times 2$$

Para obtener el % de Limo, se aplica la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Limo } (L_o) = 100 - (\% \text{ Arena } + \% \text{ Arcilla})$$

Posterior a la obtención de cada uno de los porcentajes utilizamos el Triángulo Textural para realizar la clasificación del suelo.

- **Densidad real (Dr):**

La Dr hace referencia a la relación masa/volumen (Blake & Hartge, 1986). Para ello se tomó una muestra de 100 gr en cada parcela de las áreas de estudio se las almacenó en fundas Ziploc para su posterior traslado al laboratorio de suelos, foliares y aguas, se secaron las muestras, se las tamizó a 2 mm, se pesaron 20 gr de la muestra y se hizo uso del picnómetro de 100 mL con agua destilada, donde se retiró el exceso (60 ml), posterior a esto se agregó la muestra de suelo y se volvió a pesar para definir:

Para luego ocupar:

$$Dr = \frac{PM}{VSM}$$

Donde:

PM= Peso de la muestra (g)

VSM=Volumen de los sólidos de la muestra (cm³)

- **Densidad aparente (Da):**

La Da es la relación de la masa total de las partículas del suelo y su volumen (Valarezo, 1998). Para determinar esta propiedad se tomaron 8 muestras no disturbadas en cada sector de estudio, se hizo uso de los cilindros Kopecky de volumen conocido, a una profundidad del suelo de 30 cm, con dos repeticiones dentro de cada parcela, con el propósito de tener un mayor acercamiento a valores reales y evitar sesgo en su análisis. Posterior a esto, se secaron los cilindros con suelo en una estufa a 100°C durante 24 horas y se procedió a determinar la densidad aparente a través del método del volumen conocido (LASAB, 2013).

$$Da = \frac{PSIC (100^{\circ}C) - Pc}{VCH}$$

Donde:

Da= Densidad aparente del suelo en g/cm³

PSIC=Peso seco del suelo al interior del cilindro en gramos

Pc= Peso del cilindro al vacío.

VCH=Volumen constante del cilindro (100 cm³).

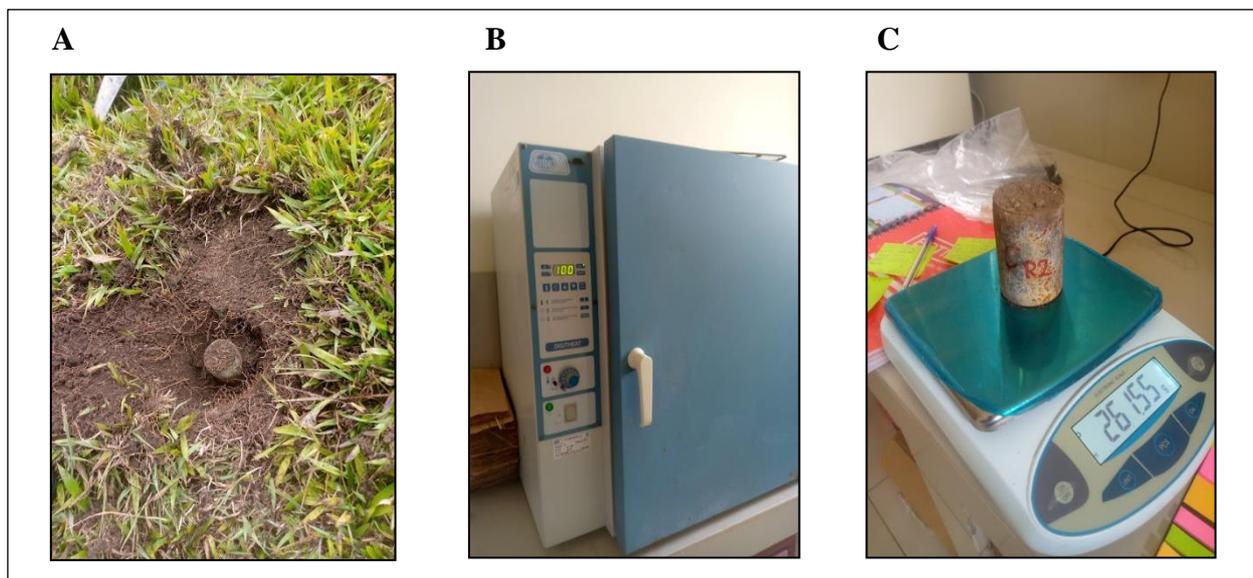


Figura 2. Densidad aparente

A. Recolección de la muestra con los cilindros Kopeck; B: Secado a 100 °C en estufa; C. Pesaje de las muestras en seco.

- **Porosidad:**

Esta propiedad determina el porcentaje del volumen total del suelo que está ocupado por los poros (Sampaio, 2009). Para su análisis se toma en consideración la D_a y D_r utilizando la siguiente fórmula:

$$Pt = \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) * 100$$

Donde:

Pt= Porosidad Total (%)

D_a = Densidad aparente (g/cm^3)

D_r = Densidad real (g/cm^3)

- **Topografía:**

El análisis topográfico se determinó mediante la realización de modelos digitales de las áreas de estudio utilizando mapas de pendientes a través de un MDE (modelo digital de elevaciones). El diseño de los mapas se realizó en el programa ArcGIS 10.5 donde la clasificación de las pendientes fue determinada por la FAO rango 1: 0-5%, rango 2: 5-12%, rango 3: 12-25%, el rango 4: 25-50%, rango 5: 50-70% y rango 6: >70% esta clasificación nos ayudó a la toma de muestras de suelo en las áreas de estudio, basándonos en la “Guía de prácticas LASAB 2013 de la UNL” define que para pendientes superiores al 12 % es necesario la toma de dos o más muestras para que los datos sean válidos.

Químicas

- **Materia orgánica:**

El análisis químico estará determinado por la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, ya que esto incide directamente en los GEI y la toma de muestras durante el proceso de las cámaras estáticas. Para ello, se utilizó el método volumétrico basándose en el ensayo PEE/SFA/09 del laboratorio de suelos, foliares y aguas donde se pesaron 0,30 g de suelo tamizado a 2 mm, para ser agregados en un Erlenmeyer de 250 ml, posterior a esto se adhirieron 10 ml de dicromato de potasio, 10 ml de ácido sulfúrico, se agitó 1 minuto y se dejó reposar por 30 minutos. Posterior, se agregó 100 ml de agua destilada, 5 ml de ácido fosfórico, 20 gotas de difenilamina al 0.5 %, titulamos el exceso de dicromato de potasio por medio de la solución de sal de Morh de concentración 0.5 N y posterior a esto calculamos:

$$C(\%) = \frac{(V_o - V) \times N \times 0,39}{PM}$$

$$\%MO = \frac{(V_o - V) \times N \times 0,39 \times 1,72 \times 1,1}{PM}$$

Donde;

V = volumen consumido en la titulación de la muestra.

V_o = volumen consumido en la titulación del blanco.

0.39= Peso equivalente del carbono.

N = Normalidad del FeSO₄.

1,72 = Constante de conversión de C a MO

PM = Peso de muestra de suelo.

F = Factor de corrección (sal de Morh).

1,1 = Error en la conversión de C a MO (10%).

Antrópicas

- ***Uso de tierra e introducción de ganado:***

De las áreas identificadas para la toma de muestras al momento del reconocimiento de campo se determinó si existe aplicación de agroquímicos, tipo de pastizal, uso de fertilizantes en el suelo e introducción de ganado vacuno. Para ello, se aplicaron encuestas simples de tipo descriptivo y marcación simple, según se puede observar en el Anexo 3.

5.3. Metodología para el segundo objetivo: Determinar las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O en las áreas de estudio mediante cámaras estáticas cerradas.

- **Construcción de las cajas**

Para el cumplimiento de este objetivo la cámara estática cerrada convencional fue elaborada de dos partes (base y cámara) hechas con tubos de PVC, las dimensiones para el diseño son propuestas por parte del proyecto “Gestión de gases de efecto invernadero en el sector AFOLU en la periferia urbana de la ciudad de Loja” que sugiere:

Tabla 2. Medidas para el diseño de cámaras estáticas.

Características propuestas para el diseño de las cámaras estáticas			
	Unidad	Medidas sugeridas	Medidas propuestas
Altura de la cámara	cm	20 – 40	25,4

Base	cm	6.5 – 10	10
Área/Perímetro	cm	5 – 10	7,5
Número de sensores		4-10	8
Número de muestras		1 – 4	4
Tiempo de muestra	min	1 hora	1 hora
Número de cámaras		2 – 3	4
Base de la cámara al suelo	cm	1-5	5
Cantidad de muestra	ml	Depende del sensor	Depende del sensor
Placas de Arduino		4-10	4

Nota: El diseño propuesto se basó en el método de muestreo a través del uso de sensores y en criterios previamente seleccionados a partir de una revisión bibliográfica sobre el tema donde las dimensiones seleccionadas se rigen en trabajos elaborados desde el año 2001 al 2007 dónde para la toma de muestras no solo influye las características de la cámara sino componentes físico-naturales, la ventilación del equipo y el número de muestras.

Una vez realizadas las cámaras estáticas cerradas se las colocaron en las parcelas en forma recta a una distancia de 2 m para la toma de muestras dentro de las áreas de estudio para su posterior análisis e interpretación.

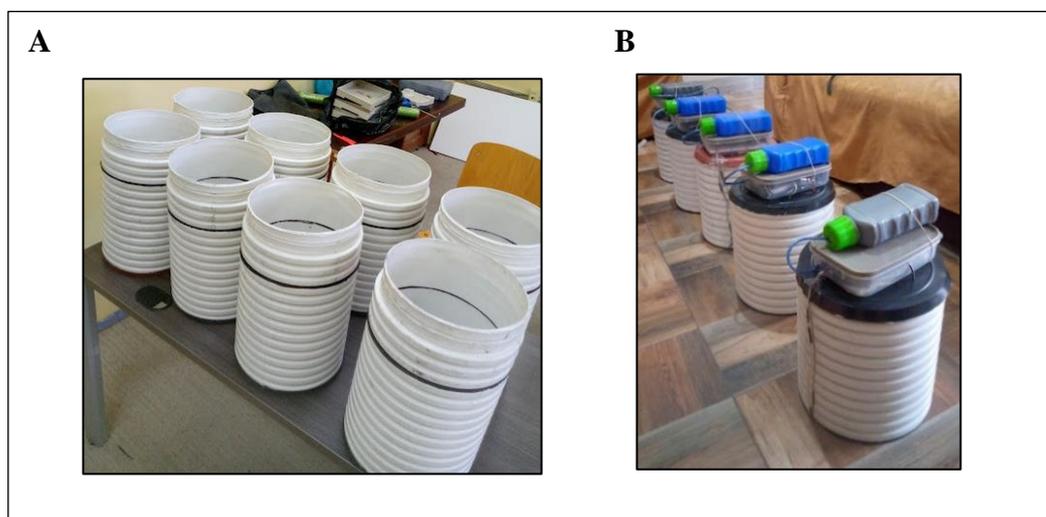


Figura 3. Diseño de cámaras

A: Diseño inicial de bases y tubos; B: Diseño parcial de bases y tubos.

- **Conexión de los circuitos**

Para armar los circuitos nos debemos regir en el tipo de Arduino ya que las conexiones varían según la serie de este (Cajo, 2013). En este estudio se utilizó una placa de Arduino modelo Mega 2560 que porta 54 pines para la conexión de los módulos como sensores, reloj, tarjeta de almacenamiento, humedad y la pantalla de lectura se utilizó un protoboard al cual se lo alimentó con 5v desde el Arduino. Cada uno de los módulos consta de diferentes pines, el RTC DS3231 utiliza 4 pines donde el de tierra (GND) se conectó al negativo y el de voltaje (Vcc) a los 5v alimentados en el protoboard, los dos pines restantes (SCL y SDA) se conectaron a los análogos A5 (SCL) y A4 (SDA). Por otro lado, la tarjeta de almacenamiento consta de 6 pines (VCC, CS, MOSI, SCK, MISO, GND) donde el de tierra (GND) se conectó al negativo, el de voltaje (Vcc) a los 5v, el CS al análogo 53, el MOSI en el análogo 51, el CLK en el análogo 52 y el

MISO en el análogo 50. Asimismo, los sensores MQ-4, MQ-135, MH Z19B para la medición de los gases CH_4 - N_2O - CO_2 se conectaron en la placa Arduino estos cuentan de 4 pines los cuales constan de un análogo, un digital, tierra y voltaje, se utilizaron 3 pines donde para Vcc y GND fueron conectados siguiendo el mismo procedimiento ya mencionado, diferenciándose en el uso de análogos A0 (MH Z19B), A1 (MQ-4) y A3 (MQ-135).



Figura 4. Conexión de los circuitos.

- **Generación de código**

Para la generación del código se utilizó el programa Arduino IDE una vez armados los circuitos seleccionamos el puerto a trabajar (Arduino Mega 2650), comprobamos si la tarjeta y el reloj están instalados correctamente a través de la opción herramientas, ya corroborado esto se descargó las librerías relacionadas a los módulos instalados (Adafruit, DHT, LiquidCrystal I2C y RTCLib), estas librerías ya vienen diseñadas con un código de fábrica para lo cual se debe manipular el código dependiendo la instalación de los pines en el Arduino y al igual que otros programas como R o Python se da un comando de lectura, para el RTC se programó un tiempo de lectura cada 20s, por otra parte, a la Tarjeta SD se le ordenó almacenar los datos según la fecha, el tiempo los gases, humedad y temperatura, elaborado esto se corrió el programa verificando el funcionamiento de los módulos para luego subir el código al Arduino.

- **Calibración**

Al utilizar modelos MQ estos disponen de un calentador que permite elevar la temperatura del sensor y así sus materiales adquieran la sensibilidad para que la medición sea confiable (Leiva et al., 2016). Los sensores MQ-4 y MQ-135 fueron “quemados” (calentador) durante 48 horas y posterior a esto se los estabiliza en la noche 12:00 a.m debido a que en esa hora hay poco material particulado en el medio y se lo regula según los niveles de CH_4 (1.9 ppm) y N_2O (0.33 ppm) en la atmósfera, por otra parte, el sensor MH Z19B ya viene calibrado previo a su fabricación.

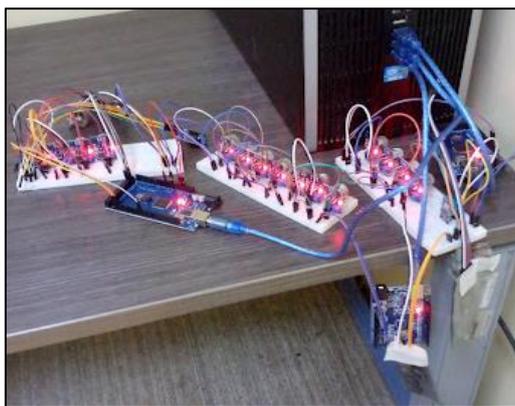


Figura 5. Quemado de sensores.

5.3.1. *Cuantificación de gases de efecto invernadero.*

- **Colocación de cámaras cerradas**

La cuantificación de gases de efecto invernadero CO_2 , CH_4 y N_2O fueron registrados en la tarjeta SD tras la medición de los sensores que arrojaron los datos en unidades de ppm acumuladas durante periodos del día, lo que permitió realizar un análisis del comportamiento temporal del flujo de los gases en las cámaras, líneas y números, para la obtención de los datos se usó un puerto USB y se manejó el programa de lectura “R”. Cada uno de los sensores utiliza estándares certificados (CO_2 : 0-5000 ppm, N_2O : 300-10000 ppm y CH_4 : 200-10000 ppm).

- ❖ *Análisis de metano:*

Los datos almacenados en los sensores fueron analizados por el modelo comercial MQ-4 y se verificó que la medición de este no sobrepase los estándares certificados que para CH_4 es de 200-18000 ppm.

- ❖ *Análisis de dióxido de carbono:*

Los datos almacenados en los sensores fueron analizados por el modelo comercial MH-Z19B y se verificó que la medición de este no sobrepase los estándares certificados que para CO_2 es de 0-5000 ppm.

- ❖ *Análisis de óxido nitroso:*

Los datos almacenados en los sensores fueron analizados por el modelo comercial MQ-135 y se verificó que la medición de este no sobrepase los estándares certificados que para N_2O es de 300-10000 ppm.

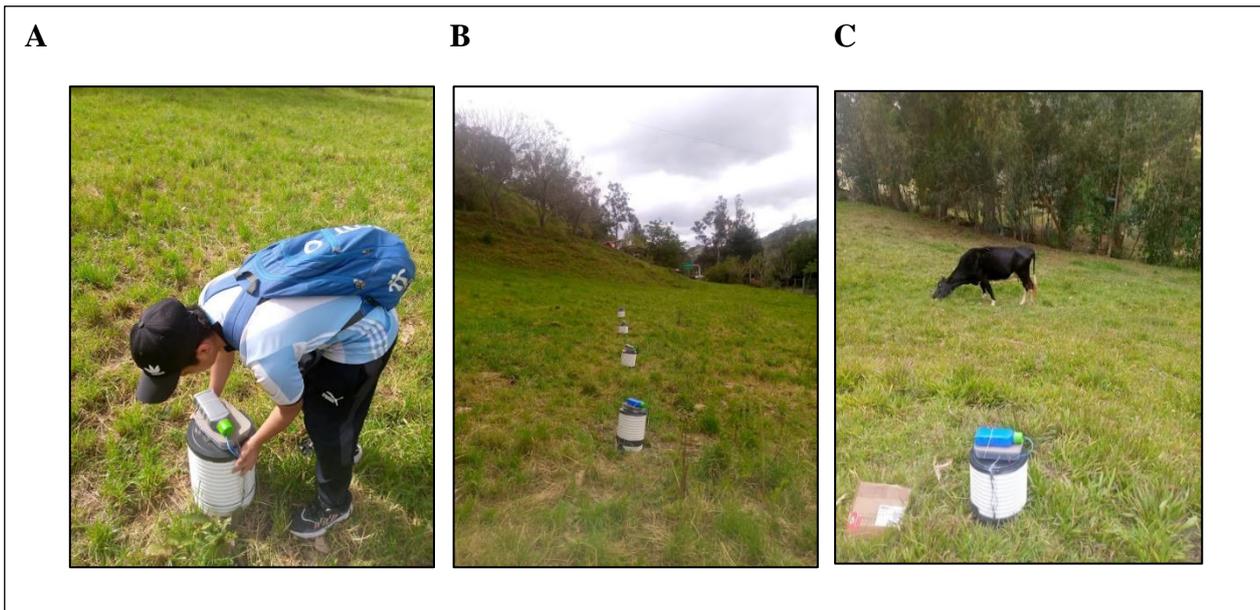


Figura 6. Colocación de cámaras

A: Colocación de las bases; B: Colocación en el sector Capulí; C: Colocación en el sector Punzara. Si bien cada uno de los sensores presenta un sesgo por las diferentes condiciones que inciden dentro de la cámara estática, estos tienden a realizar un proceso de calibración donde se aplica una corrección que será analizada por el *gas conocido* es decir el que se lo determina tras un ajuste previo en el muestreo y el gas mostrado una vez proyectados los datos.

$$Fa = \frac{G.C}{G.M}$$

Fa= factor de corrección.

G.C= Gas conocido en partes por millón (ppm).

G.M= Gas mostrado en partes por millón (ppm).

❖ Análisis de datos:

Para el análisis de los datos, las muestras obtenidas de los tres gases ya en unidades partes por millón (ppm) se registraron en plantillas de cálculo en el programa de Excel. Estas plantillas cuentan con el formato programado en el código de lectura (Concentraciones de gases, temperatura (°C), humedad (%), fechas de muestreo (d/m/a/), hora o tiempo).

❖ Cálculo de flujos:

Una vez realizada la plantilla de Excel se hizo el cálculo del flujo de cada gas en función del área y tiempo utilizando los datos.

Para este cálculo del flujo de CH₄, N₂O y CO₂ se usa la siguiente ecuación, (Ecuación 1):

$$E = \frac{dx}{dt} \cdot \frac{VM}{AV}$$

Ecuación 1

Donde:

E= Flujo de gas (CO₂, CH₄ o N₂O) por unidad de área y tiempo.

dx/dt = Rango de acumulación del gas (CO₂, CH₄ o N₂O) en el aire dentro de la cámara en partes por millón por minuto (ppm/min).

V= Volumen del gas expresado en Litros

M= Masa de C por cada Mol CO₂ o si es el caso de CH₄ y N₂O, Masa de C por cada mol.

A= Área de la cámara en m².

VM= Volumen molecular del gas.

El valor de VM se calcula de la ecuación de gases ideales como se muestra a continuación, (Ecuación 2):

$$VM = nRT/P$$

Ecuación 2

Donde:

VM = Volumen molecular de un gas.

n = Moles, (volumen de 1 mol del gas).

R= constante: ley de los gases ideales (0.0820574587 L atm K⁻¹ mol⁻¹).

T= Temperatura dentro de la cámara.

P= Presión.

5.4. Metodología para el tercer objetivo: Difundir a través de una página web los resultados obtenidos por medio de un dashboard y mapas especializados.

Este diseño de dashboard se basa en la metodología de desarrollo e implementación que define una secuencia de etapas para su creación.

Tabla 3. Diseño de una dashboard.

Planificación	El dashboard es de tipo analítico y las personas involucradas en el diseño son el tesista y el equipo de trabajo del proyecto “Gestión de gases de efecto invernadero en el sector AFOLU en la periferia urbana de la ciudad de Loja”.
Recopilación de requisitos	En esta fase el interés por crear un dashboard es la proyección de datos de las diferentes concentraciones de gases de efecto invernadero en la periferia de la ciudad de Loja.
Diseño	Se ocuparon las plantillas de Excel elaboradas en el objetivo dos al momento de realizar el cálculo de los datos, estos serán almacenados en una base de datos para lo que se utilizó el programa Python.
Construcción y validación	Una vez almacenados los datos de campo en el programa Python evaluó a los mismos en la extensión de Python, Spidey utilizada como herramienta donde se generó un código, dicho código se corrió para verificar su correcta ejecución, posterior a esto se ocupó el programa de visualización gratuita Google Colab, se subió el código y se generó el archivo html el cual nos permite visualizar las concentraciones en una extensión de un sitio web gratuito, que por ahora solo tiene la función de presentar las concentraciones de los gases en un diagrama de barras debido al código. Se importaron las siguientes librerías: <ul style="list-style-type: none"> • <code>import plotly.offline as pyo</code> • <code>import plotly.graph_objs as go</code> • <code>import pandas as pd</code> La validación del dashboard fue determinada por la claridad de proyección y el desarrollo de la metodología (válida o no válida).
Despliegue	Una vez validado el dashboard implementado se generó el acceso al código el cual puede ser modificado para agregar más diseños como gráficos o tablas para que sea de fácil lectura a quien quiera observar las concentraciones de los GEI en la periferia de la ciudad de Loja.
Mantenimiento	Se debe actualizar los datos cada cierto tiempo y el código de acceso estará proporcionado a otras personas que quieran continuar con la estimación de GEI en la ciudad de Loja,

Nota: Todas las herramientas que se implementaran en esta fase estarán respaldadas por el tesista y el equipo de trabajo del proyecto, este diseño se basará en una propuesta de Noetix (2004).

5.5. Análisis estadístico.

El procesamiento de datos se lo realizó en el software Excel, al ser una investigación de análisis descriptivo se determinó una relación entre dos variables una dependiente y otra independiente para establecer cómo influye el tiempo en intervalos de dos horas con mediciones cada 1 minuto en función a la concentración de los gases de efecto invernadero para esto se elaboró una regresión lineal, teniendo en cuenta las covariantes que influyen en la medición de GEI propuestos en el objetivo 1 (Físicos, químicos y antrópicos) para este análisis fue necesario aplicar una covarianza (ANCOVA) con los aspectos que mayor incidencia presentaron en la toma de muestras de las áreas de estudio (MO). Este análisis se ejecutó mediante el software R que contiene un lenguaje de programación confiable y nos permite determinar los datos mediante gráficas lo que nos permitió su uso para su posterior visualización en el dashboard propuesto.

6. Resultados

6.1. Características físicas, químicas y antrópicas del entorno en las áreas de estudio que inciden en la medición de GEI.

Características Físicas:

Tabla 4. Análisis de las propiedades físicas del suelo.

Indicador	Zonas de estudio	
	Capulí	Punzara
Estructura	Granular	Bloque
Textura	Franco Arenoso	Franco Arenoso
Densidad real (Dr)	2,30 g/ml	1,78 g/ml
Densidad aparente (Da)	R1: 1,30 g/cm ³	R1: 1,01 g/cm ³
	R2: 1,30 g/cm ³	R2: 1,01 g/cm ³
Porosidad	43,48 %	43,26 %

- **Textura:**

Tabla 5. Resultados de la textura del suelo.

Cálculo de la textura				
Sector	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
Capulí	56 %	32 %	12 %	Franco arenoso
Punzara	54 %	30 %	16 %	Franco arenoso

Los resultados obtenidos tras el protocolo PEE/SFA/20 determinaron que las dos zonas de estudio presentan suelos **Franco Arenosos** según el triángulo de clasificación. Al presentar este tipo de textura tanto para Punzara como el Capulí estos suelos no se compactan, tienen buena aireación, cuentan con una permeabilidad media, poseen un alto índice de nutrientes con un tamaño partículas finas y una gran capacidad para retener agua.

- **Densidad Real:**

Los resultados analizados tras el protocolo PEE/SFA/25 en el laboratorio de suelos, foliares y aguas de AGROCALIDAD, determinaron una densidad real de 2,30 g/ml en la muestra del sector Capulí lo cual según su clasificación en suelos es **Muy Bajo** y pertenece a un suelo con mayor presencia de arcilla, por otra parte, para el sector Punzara el resultado fue de 1,78 g/ml si bien está dentro de la clasificación **Muy Bajo** este suelo tiene mayor presencia de humus lo cual determina una gran presencia de materia orgánica.

- **Densidad Aparente:**

Tabla 6. Resultados de la densidad aparente.

DENSIDAD APARENTE					
Capulí:					
Muestra	S-C	S-C (100°C)	P-C	Vc	Da
Repetición 1	363,70 g	321,80 g	130,22 g	147,26 cm ³	1,30 g/cm ³
Repetición 2	352,18 g	322,26 g	130,25 g	147,26 cm ³	1,30 g/cm ³
Punzara:					

Muestra	S-C	S-C (100°C)	P-C	Vc	Da
Repetición 1	342,24 g	285,20 g	136,22 g	147,26 cm ³	1,01 g/cm ³
Repetición 2	338,98 g	282,00 g	133,27 g	147,26 cm ³	1,01 g/cm ³

Los cálculos realizados para determinar la densidad aparente coincidieron para ambas repeticiones, el sector Capulí en la repetición 1 el resultado fue de 1,30 g/cm³ al igual que la repetición 2 (1,30 g/cm³), según la tabla de clasificación estos valores definen al sector Capulí con suelo franco. Por otra parte, el sector Punzara que tras sus dos repeticiones registró un valor promedio de 1,01 g/cm³ definiendo a este suelo con propiedades volcánicas (Porta et al., 2008), la repetición 1 obtuvo un valor de 1,01 g/cm³ semejante al valor de la repetición 2 que 1,01 g/cm³ como se puede observar en la tabla 6.

- **Porosidad:**

Tabla 7. Resultados de la porosidad.

Cálculo de porosidad			
Sector	Da	Dr	Pt
Capulí	1,30 g/cm ³	2,30 g/ml	43,48 %
Punzara	1,01 g/cm ³	1,78 g/ml	43,26 %

El análisis de los datos determina que las dos zonas de estudio presentan suelos con propiedades francas según la clasificación del suelo respecto a la porosidad, asimismo, se los puede definir como suelos medios-ligeros que generalmente tienen buena aireación y drenaje para el desarrollo de raíces.

- **Topografía:**

El análisis topográfico determinado por el MDE establece que una vez generado el slop de las áreas de estudio y la reclasificación del mismo ocupando los rangos de la FAO, las pendientes de la ciudad de Loja varían entre 0-5 % a 25-50%. La clasificación se dio en 6 intervalos donde el sector de Capulí presentó pendientes de 5 a 12 % determinando un área moderadamente inclinada, mientras que en el sector Punzara Alto presento pendientes mayores al 12 % hasta intervalos del 25 % determinando un área fuertemente inclinada registrando el punto más alto.

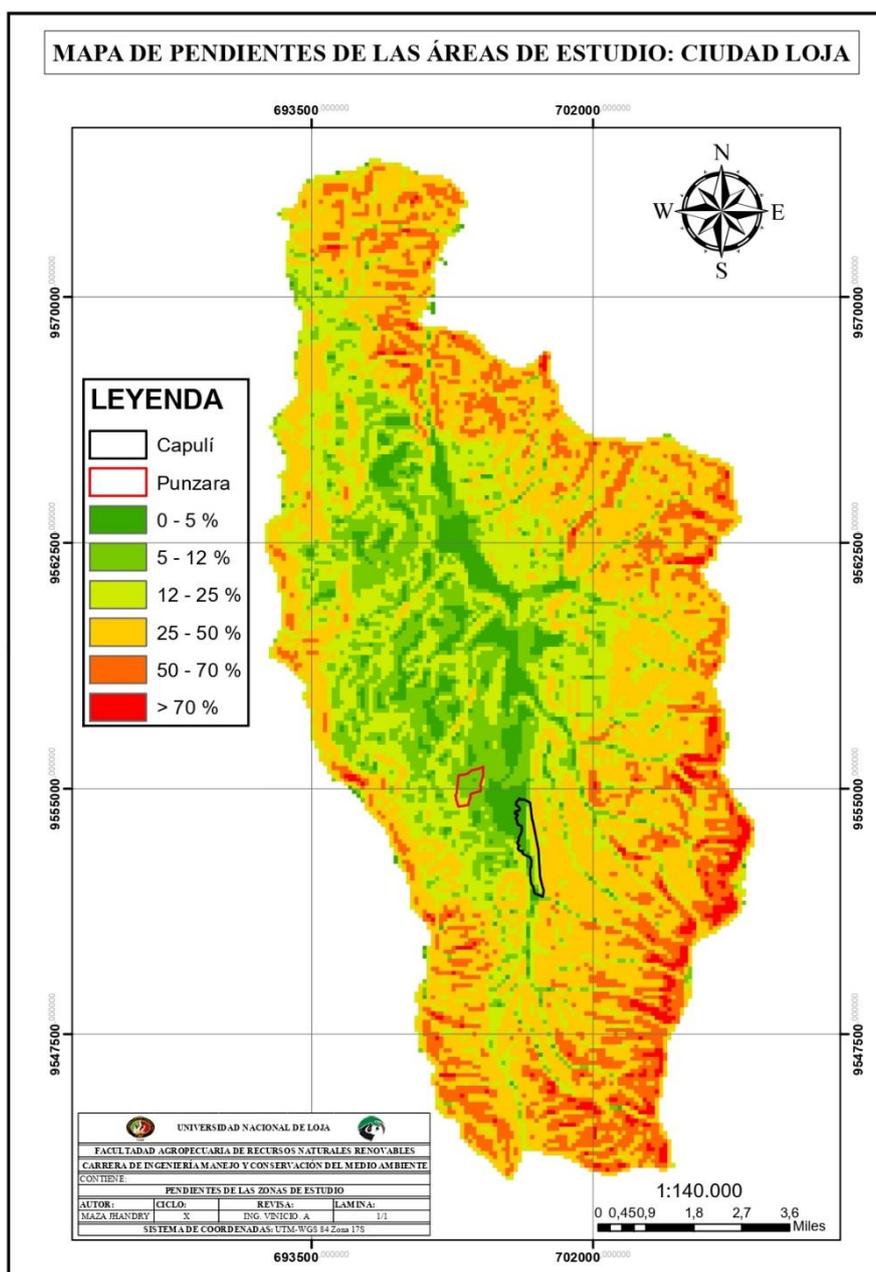


Figura 7. MDE Loja.

Características Químicas:

- **Materia Orgánica:**

Los resultados analizados tras el protocolo PEE/SFA/09 en el laboratorio de suelos, foliares y aguas determinaron el porcentaje de materia orgánica para las zonas de estudio en donde el sector Punzara presentó el valor más alto con un 13,41 % en contenido de MO a diferencia del sector Capulí que presentó un 8,11 %. Sin embargo, a pesar de haber una diferencia entre ambas zonas de estudio están dentro de la clasificación **Alto** en contenido de materia orgánica según la interpretación de resultados Régimen Sierra INIAP. 2002, los análisis se pueden visualizar en los anexos 4 y 5.

Además, se consideró otro método para la determinación de la materia orgánica lo cual no fue considerado en la metodología, sin embargo, nos sirve para hacer una comparativa entre métodos y verificar el porcentaje de MO en ambas zonas.

Tabla 8. Resultados de la materia orgánica del suelo (método de calcinación).

Zonas	Crisol	Pi	Pi-C	Ps	Ps-C	MO
Capulí	60,30 g	70,30 g	10 g	67,38 g	7,08 g	41,24 %
Punzara Alto	60,30 g	70,30 g	10 g	67,53 g	7,23g	65,97%

El porcentaje de materia orgánica calculado para el sector Punzara Alto (65,97%) es superior al del Capulí (41,24 %) determinando suelos con alto contenido de MO, esto se debe a la presencia de ácidos húmicos es decir que estos tipos de suelos tienen una gran presencia de nutrientes como Ca, K, Cu, B, Zn, Mg, S y trazas de Nitrógeno (OMRI 2015), esto coincide con el color del suelo según la observación “Café oscuro” en seco para el sector Capulí y “ Gris oscuro” en seco para el sector Punzara Alto.

Características Antrópicas:

Tabla 9. Registro ganadero para ambos sectores.

Zonas	Cabezas de Ganado	Ternereros	Frecuencia de pastoreo	Actividad
Capulí	23	8	Mensual	Producción de estiércol para abonos
Punzara	5	0	Semanal	Producción de leche, queso y venta de ganado.

Se hicieron dos encuestas a los propietarios de las zonas de trabajos para determinar sus actividades ganaderas de las cuales destacamos que en el sector Capulí a pesar de tener un gran número de ganado su actividad única con este sector ganadero es la producción de estiércol para la generación de abonos ya que en esta finca “Hacienda los huevos” se dedica más a la producción de gallinaza y con ello la distribución de huevos. En cambio, el sector Punzara registra un mínimo de ganado donde la producción de leche y queso son su mayor actividad de ingresos económicos.

6.2. Determinación de las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O a través de cámaras estáticas cerradas.

6.2.1. Variación diaria de CO₂ en el suelo en intervalos de 2 horas.

Tabla 10. Concentraciones de CO₂ en intervalos de 2 horas mes diciembre.

	Punzara				Capulí			
	Date	CO ₂	H	T	Date	CO ₂	H	T
Min	23/12/2022	772	93	24	17/12/2022	35,21	51,5	19,13
1st Qu.	23/12/2022	772	94	28	18/12/2022	231,52	57,78	21,18
Mediana	23/12/2022	773	95	29	20/12/2022	419,18	81,8	22,25
Media	23/12/2022	788,22	94,58	28,16	20/12/2022	359,19	75,01	22,88
3rd Qu.	23/12/2022	780	95	29	21/12/2022	445,29	84,17	23,07

Max	23/12/2022	882	95	30	22/12/2022	786,26	93,73	30,63
-----	------------	-----	----	----	------------	--------	-------	-------

En el sector Capulí las 4 cámaras colocadas (1c, 2c, 3c y 4c) registraron alrededor de 1007 muestras de CO₂ en intervalos de 2 horas durante los días 17, 18, 19, 20, 21 y 22 de diciembre del 2022, determinando el pico más alto el día 22/12/2022 con una concentración de 786,26 ppm de CO₂, por otra parte, el pico más bajo se registró el 20/12/2022 a las 14:01:19 pm con una concentración de 35,21 ppm de CO₂ y una media de 359,19 ppm como se puede observar en la figura A. En cambio, en el sector Punzara la cámara colocada (3c) registró alrededor de 31 muestras de CO₂ en intervalos de un minuto durante el día 23 de diciembre del 2022, determinando el pico más alto a las 12:09:37 pm con una concentración de 882,00 ppm de CO₂, por otra parte, el pico más bajo se registró un intervalo de 12 muestras desde las 11:41:02 am hasta 12:01:27 pm con una concentración de 772 ppm de CO₂ y una media de 788,22 ppm como se puede observar en la figura B.

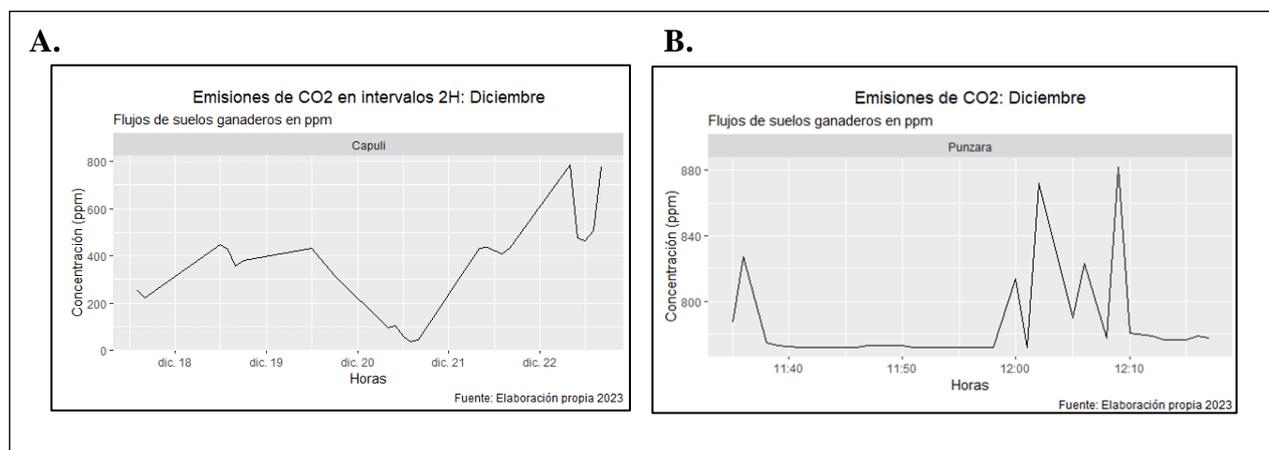


Figura 8. Emisiones de CO₂ diciembre
A: Sector Capulí; B: Sector Punzara.

Tabla 11. Concentraciones de CO₂ en intervalos de 2 horas mes enero.

	Punzara				Capulí			
	Date	CO2	H	T	Date	CO2	H	T
Min	13/1/2023	118,3	83,18	15,35	17/1/2023	308,7	90,6	17,57
1st Qu.	13/1/2023	150,9	86,23	20,56	17/1/2023	316,7	92,16	21,31
Mediana	14/1/2023	204,4	88,19	23,62	18/1/2023	323	92,83	24,32
Media	14/1/2023	241,2	88,2	22,63	18/1/2023	331,4	92,73	23,07
3rd Qu.	15/1/2023	368,5	90,45	24,8	18/1/2023	332,9	93,58	25,41
Max	15/1/2023	397,3	92,26	28,13	19/1/2023	396,1	94,84	25,94

En el mes de enero las cámaras 1c y 2c registraron 654 muestras con una media de 241,2 ppm de CO₂ para el sector Punzara los días 13, 14 y 15, donde el mayor registro de dióxido de carbono se evidenció el 13/01/2023 con una concentración de 397,3 ppm de CO₂, por el contrario, la concentración más baja tuvo un registro de 118,3 ppm el día 14/01/2023 como se puede ver en la figura A. Por otro lado, las mismas cámaras (1c y 2c) registraron 555 muestras

con una media 331,4 ppm de CO₂ para el sector Capulí los días 17, 18, y 19, donde el mayor pico de concentración se visualizó el 19/01/2023 con un valor de 396,1 ppm de CO₂, asimismo, el registro más bajo se dio el 18/01/2023 con una concentración de 308,69 ppm como se refleja en la figura B. Cabe recalcar que las muestras recolectadas están siendo representadas en intervalos de 2 horas.

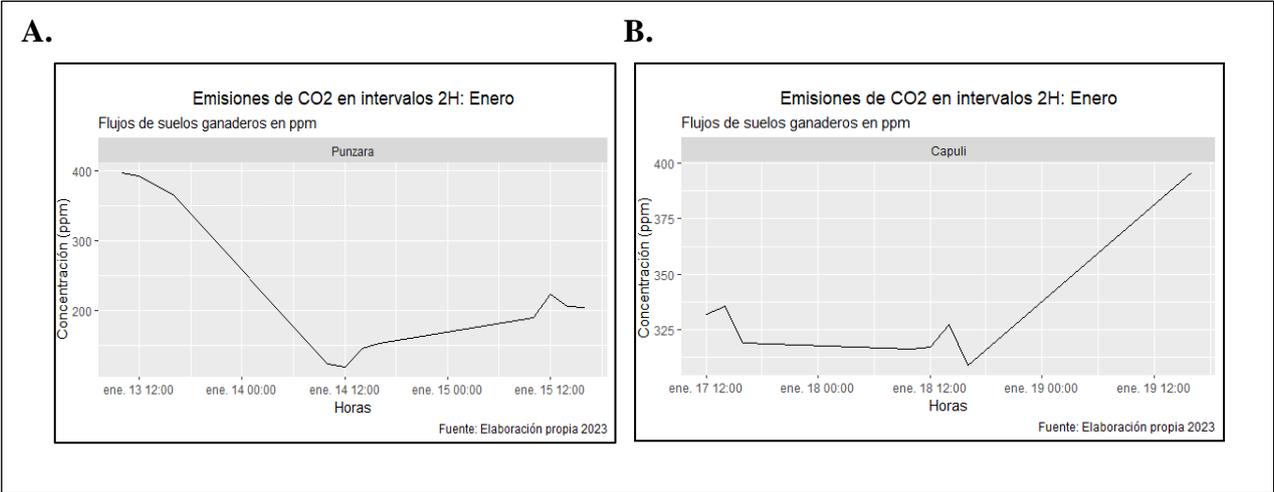


Figura 9. Emisiones de CO₂ enero
A: Sector Punzara; B: Sector Capulí.

- Frecuencia de concentraciones de CO₂ en 2 horas.**

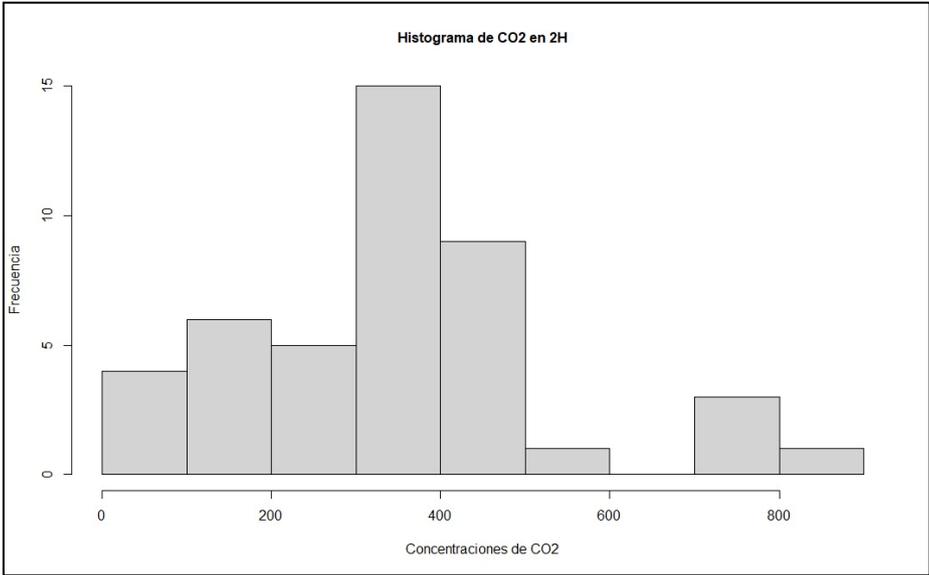


Figura 10. Frecuencias de CO₂.

Se recolectaron 2245 muestras de CO₂ de las zonas de estudio donde se consideraron concentraciones en intervalos de 2 horas de los cuales en la figura 10 podemos observar que las mayores concentraciones de dióxido de carbono se presentaron en intervalos de 200 ppm a 400 ppm con una frecuencia de 5 a 15 registros, aunque, las menores concentraciones de este gas se registraron en intervalos de 600 ppm a 800 ppm de CO₂ con una frecuencia de 0 a 3 registros.

- **Distribución de las concentraciones de CO₂ en 2 horas.**

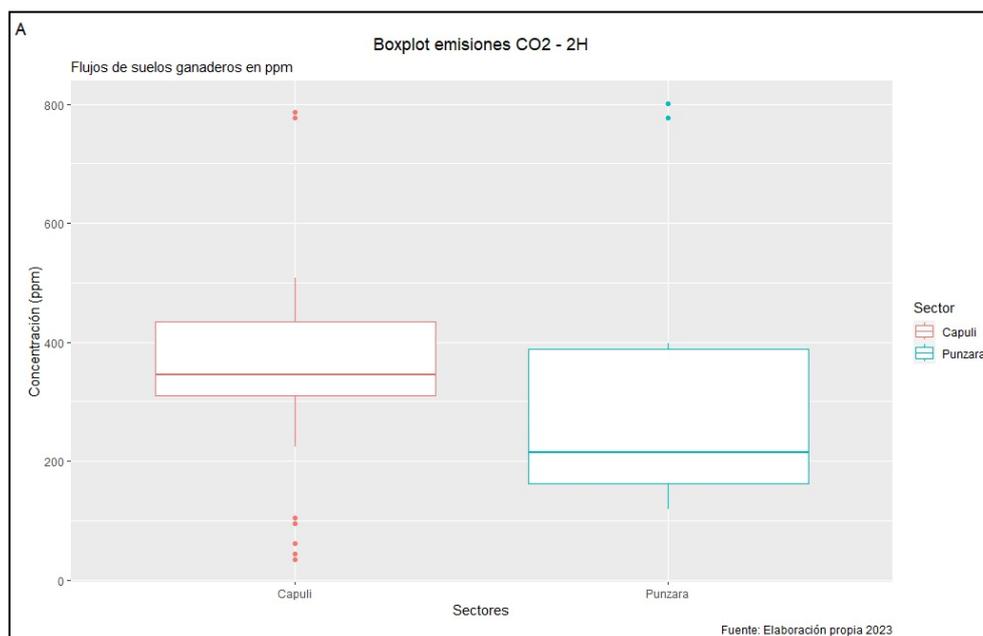


Figura 11. Distribución de las concentraciones de CO₂.

En un intervalo de 2 horas las concentraciones de CO₂ se encuentran distribuidas por encima de la media para ambos sectores es decir tienen una asimetría positiva. Como podemos observar en la figura 11 las mayores emisiones de CO₂ se registraron en el sector Capulí con una concentración que varía entre 300 ppm a 450 ppm a diferencia de Punzara en la que sus concentraciones varían entre 150 ppm a 400 ppm CO₂.

6.2.2. Variación diaria de CH₄ en el suelo en intervalos de 2 horas.

Tabla 12. Concentraciones de CH₄ en intervalos de 2 horas mes diciembre.

	Punzara				Capulí			
	Date	CH4	H	T	Date	CH4	H	T
Min	23/12/2022	1,07	93	24	17/12/2022	1,66	51,5	19,13
1st Qu.	23/12/2022	1,18	94	28	18/12/2022	3,12	57,78	21,18
Mediana	23/12/2022	1,19	95	29	20/12/2022	4,25	81,8	22,25
Media	23/12/2022	1,2	94,58	28,16	20/12/2022	4,6	75,01	22,88
3rd Qu.	23/12/2022	1,23	95	29	21/12/2022	6,41	84,17	23,07
Max	23/12/2022	1,25	95	30	22/12/2022	7,37	93,73	30,63

Las 4 cámaras colocadas (1c,2c,3c y 4c) en el sector Capulí registraron alrededor de 1007 muestras de CH₄ en intervalos de 2 horas durante 6 días (17, 18, 19, 20, 21 y 22) del mes de diciembre del 2022, determinando el pico más alto el día 21/12/2022 en un intervalo de 3 muestras con una concentración de 7,37 ppm de CH₄, por otra parte, el pico más bajo se registró el 22/12/2022 con una concentración de 1,66 ppm de CH₄ y una media promedio de 4,6 ppm como se puede observar en la figura A. En cambio, En el sector Punzara la cámara colocada (3c) registró alrededor de 31 muestras de CH₄ en intervalos de un minuto durante el día 23 de

diciembre del 2022, determinando el pico más alto desde las 12:08:15 pm hasta las 12:17:47 pm en un intervalo de 6 muestras con una concentración de 1,247 ppm de CH₄, por otra parte, el pico más bajo se registró a las 11:35:35 am con una concentración de 1,07 ppm de CH₄ y una

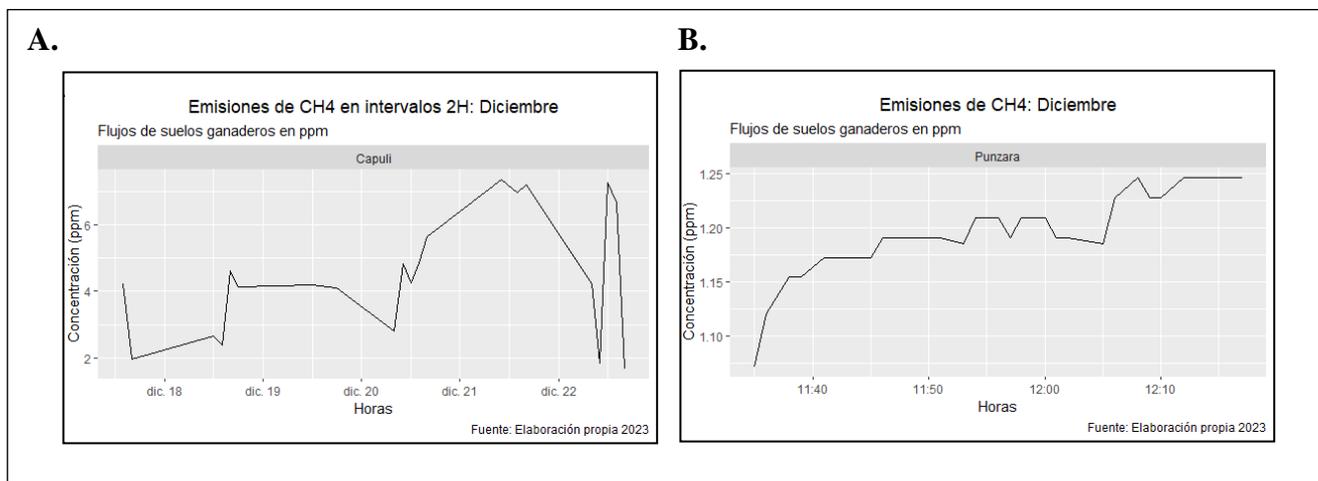


Figura 12. Emisiones de CH₄ diciembre
A: Sector Capulí; B: Sector Punzara.

Tabla 13. Concentraciones de CH₄ en intervalos de 2 horas mes enero.

	Date	Punzara			Capulí			
		CH ₄	H	T	Date	CH ₄	H	T
Min	13/1/2023	0,09	83,18	15,35	17/1/2023	0,14	90,6	17,57
1st Qu.	13/1/2023	0,12	86,23	20,56	17/1/2023	0,51	92,16	21,31
Mediana	14/1/2023	0,15	88,19	23,62	18/1/2023	0,98	92,83	24,32
Media	14/1/2023	0,54	88,2	22,63	18/1/2023	0,91	92,73	23,07
3rd Qu.	15/1/2023	0,92	90,45	24,8	18/1/2023	1,24	93,58	25,41
Max	15/1/2023	1,62	92,26	28,13	19/1/2023	1,7	94,84	25,94

Tras el registro de 654 muestras con una media de 0,54 ppm de CH₄ para el sector Punzara los días 13, 14 y 15 en el mes de enero del 2023, la mayor concentración de metano se evidenció el 13/01/2023 con un valor de 1,62 ppm de CH₄, mientras que la concentración más baja tuvo un registro de 0,09 ppm el día 15/01/2023 como se puede ver en la figura A. Así también, las cámaras 1c y 2c registraron 555 muestras con una media 0,91 ppm CH₄ para el sector Capulí los días 17, 18, y 19 donde el mayor pico de concentración se visualizó el 19/01/2023 con un valor de 1,7 ppm de CO₂, asimismo, el registro más bajo se dio el 17/01/2023 con una concentración de 0,14 ppm como se observa en la figura B. Cabe recalcar que las muestras recolectadas están siendo representadas en intervalos de 2 horas.

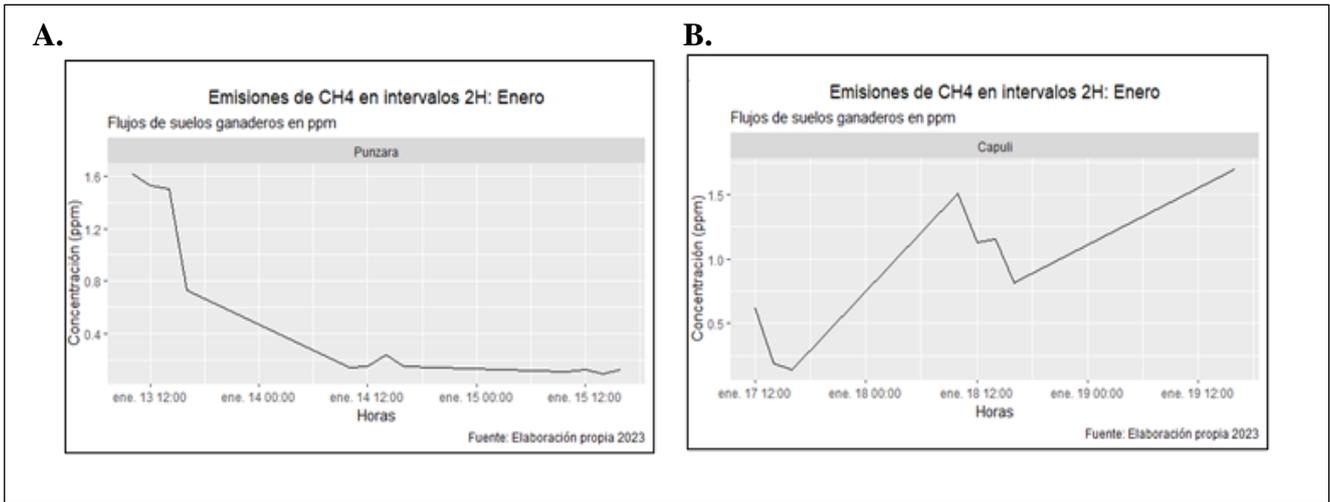


Figura 13. Emisiones CH₄ enero
 A. Sector Punzara; B. Sector Capulí.

- **Frecuencia de concentraciones de CH₄ en 2 horas.**

Tras ser recolectadas 2245 muestras de CH₄ de las zonas de estudio donde se consideraron concentraciones en intervalos de 2 horas como podemos visualizar en la figura 14, las mayores concentraciones de metano se presentan en intervalos de 0 ppm a 2 ppm con una frecuencia de 12 a 13 registros, sin embargo, las menores concentraciones de este gas se registraron en intervalos de 2 ppm a 4 ppm de CH₄ con una frecuencia de 0 a 3 registros.

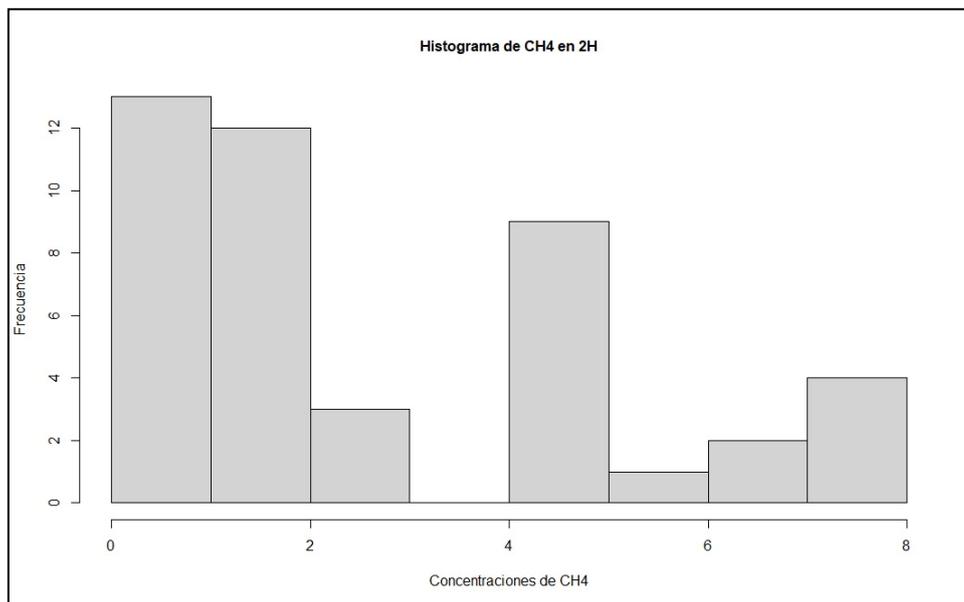


Figura 14. Frecuencias de CH₄.

- **Distribución de las concentraciones de CH₄ en 2 horas.**

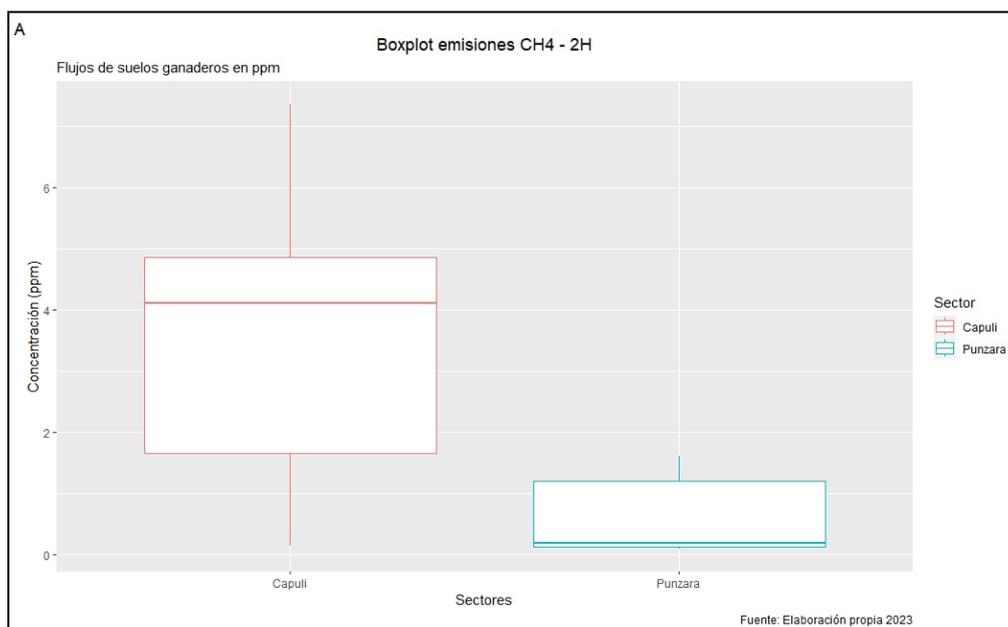


Figura 15. Distribución de las concentraciones de CH₄.

En un intervalo de 2 horas las concentraciones de CH₄ se encuentran distribuidas por debajo de la media para el sector Capulí lo que determina una asimetría negativa a diferencia de Punzara que presenta una asimetría positiva lo cual lo podemos visualizar en la figura 15. Las mayores emisiones de CH₄ se registraron en el sector Capulí con una concentración que varía entre 1,6 ppm a 4,9 ppm a diferencia de Punzara en la que sus concentraciones varían entre 0,1 ppm a 1,2 ppm CH₄.

6.2.3. Variación diaria de N₂O en el suelo en intervalos de 2 horas.

Tabla 14. Concentraciones de N₂O en intervalos de 2 horas mes diciembre.

	Punzara				Capulí			
	Date	N ₂ O	H	T	Date	N ₂ O	H	T
Min	23/12/2022	0,32	93	24	17/12/2022	0,04	51,5	19,13
1st Qu.	23/12/2022	0,36	94	28	18/12/2022	0,14	57,78	21,18
Mediana	23/12/2022	0,39	95	29	20/12/2022	0,2	81,8	22,25
Media	23/12/2022	0,43	94,58	28,16	20/12/2022	0,21	75,01	22,88
3rd Qu.	23/12/2022	0,47	95	29	21/12/2022	0,28	84,17	23,07
Max	23/12/2022	0,72	95	30	22/12/2022	0,47	93,73	30,63

En el sector Punzara la cámara colocada (3c) registró alrededor de 31 muestras con una media de 0,43 ppm de N₂O en intervalos de un minuto durante el día 23 de diciembre del 2022, determinando el pico más alto con una concentración de 0,72 ppm de N₂O ppm, por otra parte, el pico más bajo se registró un intervalo de 7 muestras con una concentración de 0,32 ppm de N₂O como se puede visualizar en la figura A. En el sector Capulí tras el registro en las 4 cámaras colocadas (1c, 2c, 3c y 4c) se obtuvieron alrededor de 1007 muestras de N₂O en intervalos de

dos horas durante los días 17, 18, 19, 20, 21 y 22 de diciembre del 2022, determinando el pico más alto el día 19/12/2022 en un intervalo de 3 muestras con una concentración de 0,47 ppm de N₂O, en cambio, el pico más bajo se registró el 21/12/2022 en un intervalo de 11 muestras con una concentración de 0,04 ppm de N₂O y una media de 0,21 ppm como se puede observar en la figura B.

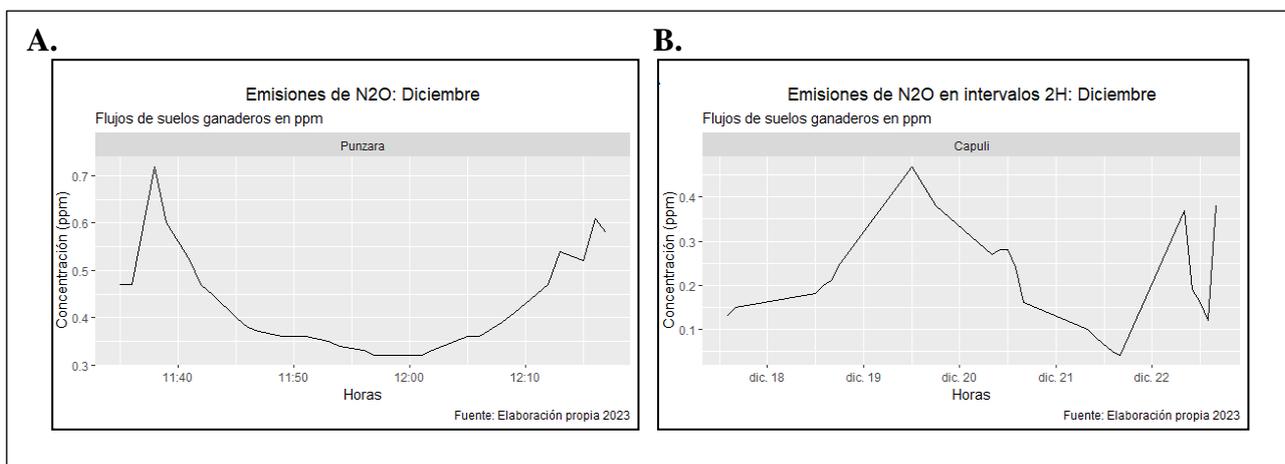


Figura 16. Emisiones N₂O diciembre
 A. Sector Punzara; B. Sector Capulí.

Tabla 15. Concentraciones de N₂O en intervalos de 2 horas mes enero.

	Punzara				Capulí			
	Date	N ₂ O	H	T	Date	N ₂ O	H	T
Min	13/1/2023	0,02	83,18	15,35	17/1/2023	0,02	90,6	17,57
1st Qu.	13/1/2023	0,02	86,23	20,56	17/1/2023	0,02	92,16	21,31
Mediana	14/1/2023	0,05	88,19	23,62	18/1/2023	0,03	92,83	24,32
Media	14/1/2023	0,06	88,2	22,63	18/1/2023	0,06	92,73	23,07
3rd Qu.	15/1/2023	0,1	90,45	24,8	18/1/2023	0,1	93,58	25,41
Max	15/1/2023	0,13	92,26	28,13	19/1/2023	0,12	94,84	25,94

Se registraron alrededor de 654 muestras con una media de 0,06 ppm de N₂O para el sector Punzara los días 13, 14 y 15 en el mes de enero del 2023, la mayor concentración de óxido nitroso se visualizó el 13/01/2023 con un valor de 0,13 ppm de N₂O, mientras que la concentración más baja tuvo un registro de 0,02 ppm el día 14/01/2023 como se puede ver en la figura A. Las cámaras 1c y 2c registraron 555 muestras con una media 0,06 ppm N₂O para el sector Capulí los días 17, 18, y 19 donde el mayor pico de concentración se presentó el 18/01/2023 con un valor de 0,12 ppm de N₂O, asimismo, el registro más bajo se dio el 17/01/2023 con una concentración de 0,14 ppm como se ver en la figura B. Cabe recalcar que las muestras recolectadas están siendo representadas en intervalos de 2 horas.

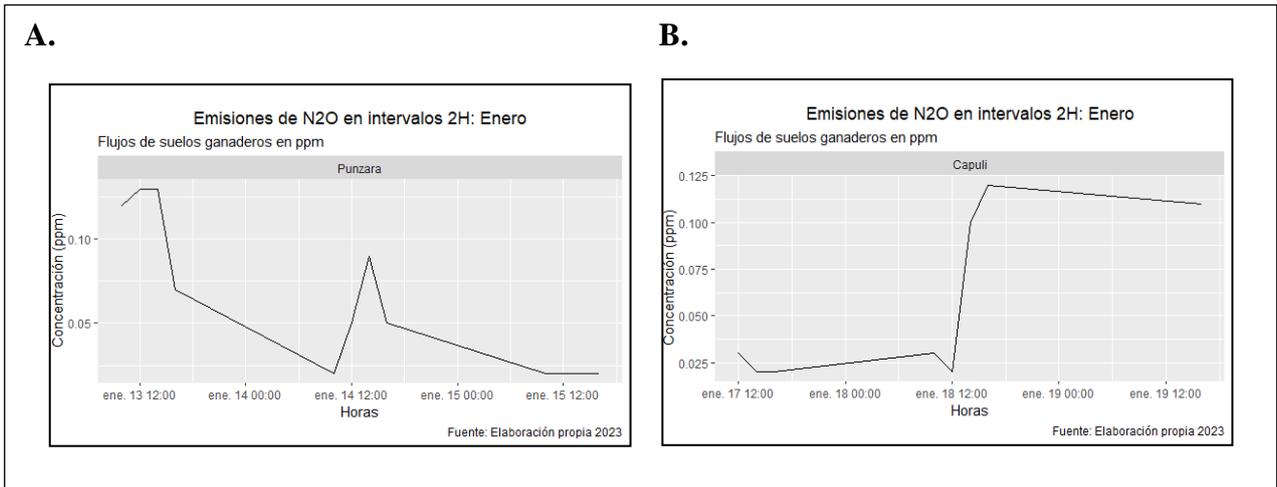


Figura 17. Emisiones N₂O enero
 A. Sector Punzara; B. Sector Capulí.

- **Frecuencia de concentraciones de N₂O en 2 horas.**

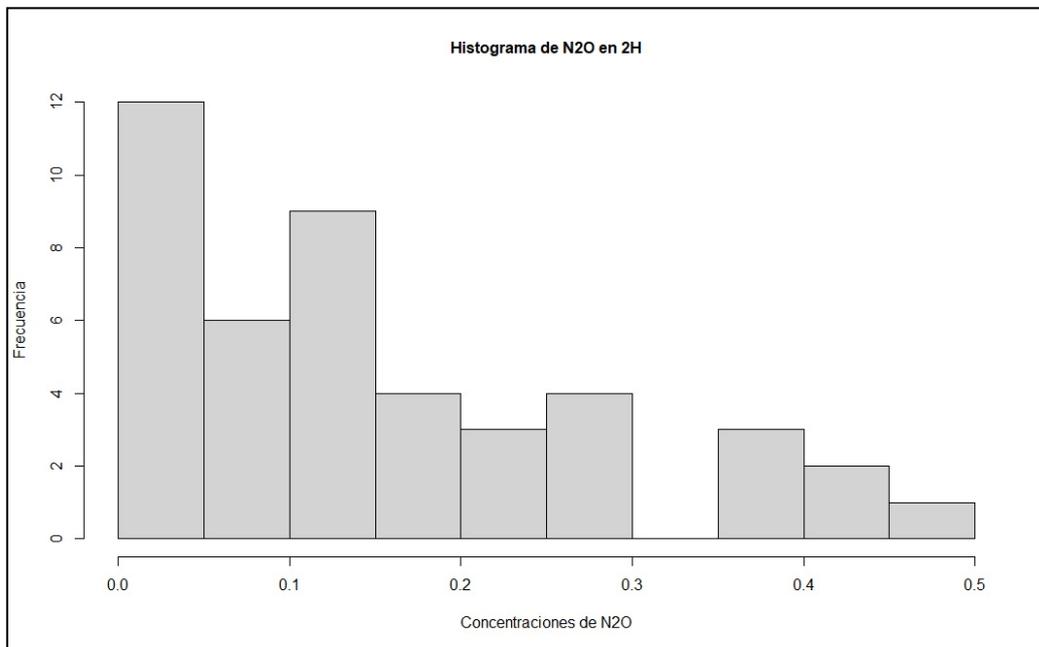


Figura 18. Frecuencias de N₂O.

Las muestras registradas de N₂O (2245) de las zonas de estudio donde se consideraron concentraciones en intervalos de 2 horas como podemos observar en la figura 18, las mayores concentraciones de óxido nitroso se presentan en intervalos de 0 ppm a 0,1 ppm con una frecuencia de 6 a 12 registros, a diferencia de las concentraciones menores de este gas que se registraron en intervalos de 0,4 ppm a 0,5 ppm de N₂O con una frecuencia de 1 a 2 registros.

- **Distribución de las concentraciones de N₂O en 2 horas.**

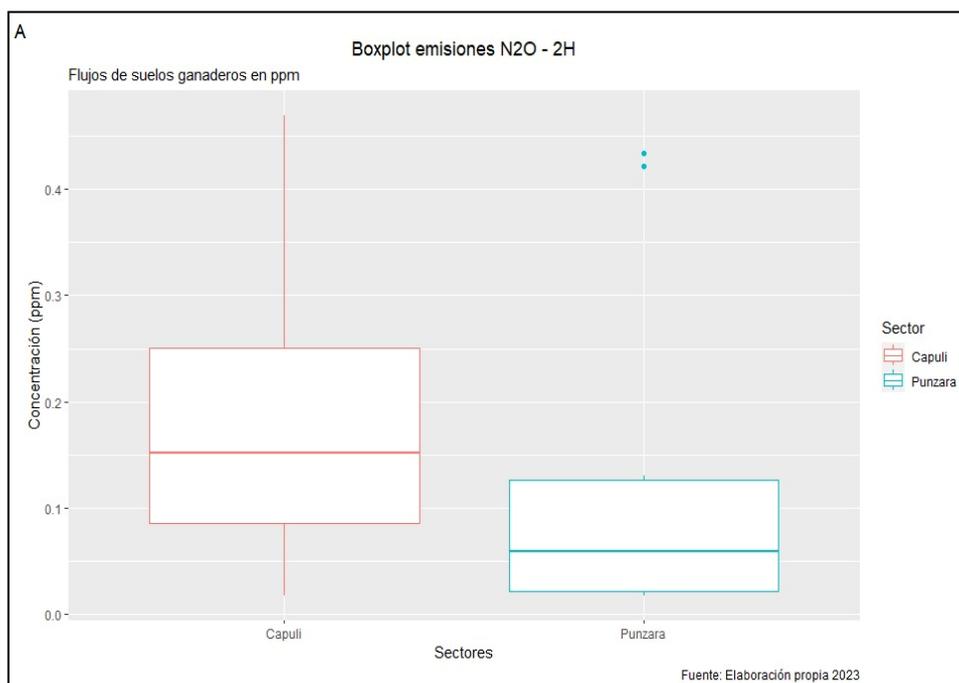


Figura 19. Distribución de las concentraciones de N₂O.

En un intervalo de 2 horas las concentraciones de N₂O se encuentran distribuidas por encima de la media para ambos sectores es decir tienen una asimetría positiva. Las mayores emisiones de N₂O se registraron en el sector Capulí con una concentración que varía entre 0,08 ppm a 0,25 ppm a diferencia de Punzara en la que sus concentraciones varían entre 0,03 ppm a 0,13 ppm N₂O.

6.3. Diseño de dashboard.

6.3.1. Construcción y validación.

Una vez obtenidos datos csv el código generado de las concentraciones de los gases dentro de las cámaras se representó de una línea que junto a la librería pandas as pd y las librerías plotly de Python creando el siguiente código:

```
#Importar librerías
import dash
import dash_core_components as dcc
import dash_html_components as html
from dash.dependencies import Input, Output
import plotly.graph_objs as go
import pandas as pd

app = dash.Dash()

#Carga de datos
```

```

df_camaras = pd.read_csv(r'/Users/jhand/Desktop/Resumen2HPyC.csv',
                        encoding = 'ISO-8859-1', delimiter=';')
df_camaras['Date']=pd.to_datetime(df_camaras['Date'])
df_camaras.info()

variables = df_camaras.columns #Lista con las columnas del dataframe
que estarán en los dropdowns

#Definición del layout de la app a partir de componentes HTML y Core
app.layout = html.Div([
    html.Div([
        dcc.Dropdown(
            id='ejex',
            options=[{'label': i, 'value': i} for i in
variables],
            value='CO2'
        )
    ], style={'width': '48%', 'display': 'inline-
block'}),

    html.Div([
        dcc.Dropdown(
            id='ejey',
            options=[{'label': i, 'value': i} for i in
variables],
            value='CH4'
        )
    ], style={'width': '48%', 'float': 'right',
'display': 'inline-block'}),
    dcc.Graph(id='grafico_var')
], style={'padding':10})

```

Como se puede observar en el código la librería de plotly con su función go.Scatter estableció las variables donde en la representación de los 3 gases la variable “x” está determinada por el tiempo y la variable “y” por la concentración de los gases.

6.3.2. Despliegue.

Al utilizar la librería de plothy.graph_objs as go nos permitió que la función Layout complemente el código dando nombre a la leyenda y los ejes, que al ejecutarlo nos dio como

resultado un HTML con las concentraciones de CH₄-CO₂-N₂O de los sectores Capulí y Punzara Alto.

```
# CREACIÓN DE GRÁFICOS E INTERACTIVIDAD
#Callback para actualizar gráfico en función de los 2 dropdowns
@app.callback(
    Output('grafico_var', 'figure'),
    [Input('ejex', 'value'), Input('ejey', 'value')])
def actualizar_graf(nombre_ejex, nombre_ejey):
    return {
        'data': [go.Scatter(
            x=df_camaras[nombre_ejex], #la selección realizada en el
primer dropdown
            y=df_camaras[nombre_ejey], #la selección realizada en el
segundo dropdown
            text=df_camaras['Date'],
            mode='lines + markers',
            marker={
                'size': 15,
                'opacity': 0.5,
                'line': {'width': 0.5, 'color': 'white'}
            }
        )],
        'layout': go.Layout(
            xaxis={'title': nombre_ejex},
            yaxis={'title': nombre_ejey},
            margin={'l': 40, 'b': 40, 't': 10, 'r': 0},
            hovermode='closest'
        )
    }

#Sentencias para abrir el servidor al ejecutar este script
if __name__ == '__main__':
    app.run_server()
```

6.4. Análisis estadístico.

6.4.1. Concentraciones en función a la temperatura.

Tabla 16. Correlación de concentraciones de los gases en función a la temperatura.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Error	182,1	2,424	0,1305
Coefficientes	(-119,256) – (19,952)	(1,87047) – (0,03444)	(0,094289) – (0,002531)
P valor	0,02737	0,7684	0,6879

R	0,1106	0,002086	0,003881
R ajustado	0,08947	-0,02167	-0,01984

Al cumplir con el análisis de regresión lineal podemos observar que los datos en intervalos de 2 horas no tienen normalidad en ningún gas con respecto a la temperatura debido a que el valor de R es demasiado bajo ya que la temperatura no se mantuvo estable al momento de las mediciones y varió constantemente.

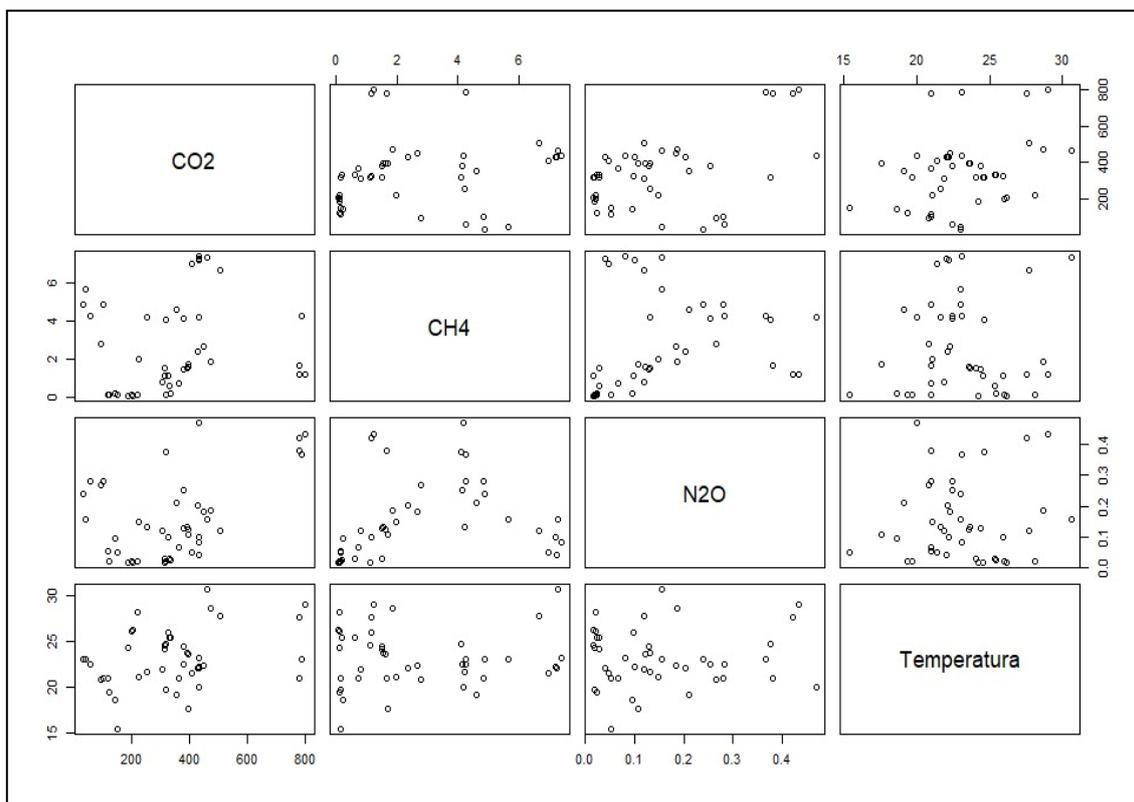


Figura 20. Correlación temperatura.

6.4.2. Concentraciones en función a la humedad.

Tabla 17. Correlación de concentraciones de los gases en función a la humedad.

	CO₂	CH₄	N₂O
Error	169,9	2,14	0,1281
Coefficientes	(-246,200) – (7,105)	(9,99929) – (-0,08866)	(0,322489) – (-0,002052)
P valor	0,001118	0,00123	0,1872
R	0,2257	0,2225	0,04105
R ajustado	0,2073	0,2039	0,01822

Al cumplir con el análisis de regresión lineal podemos observar que los datos en intervalos de 2 horas no tienen normalidad en ningún gas con respecto a la humedad debido a que el valor de R es demasiado bajo ya que la humedad no se mantuvo estable al momento de las mediciones hubo precipitaciones ocasionales y variaciones constantes dentro y fuera de la cámara.

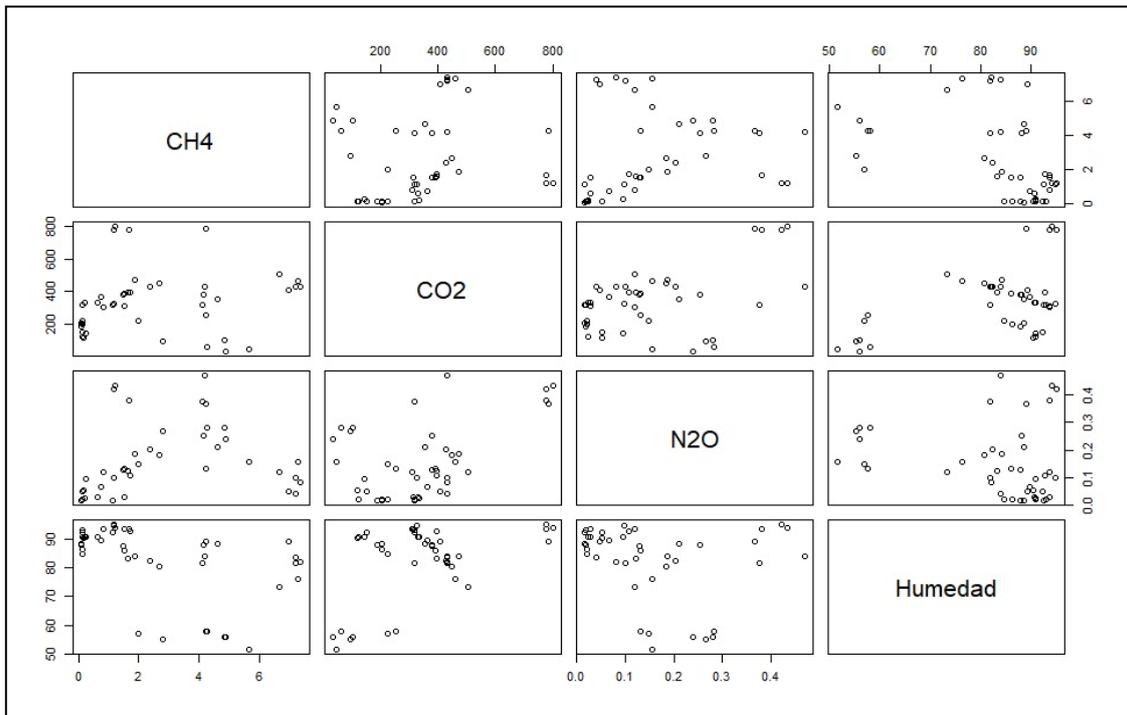


Figura 21. Correlación humedad.

Las mayores concentraciones de CO₂ se evidenciaron en los días 21-22 de diciembre del 2022 las cuales fueron observadas en horarios diurnos de 09:00 am a 16:00 pm para el día 21 y de 09:00 am a 10:00 am en la mañana, asimismo, vuelve a incrementar en la tarde entre las 15:00 pm a 17:00 pm para el día 22. Estas observaciones coinciden con el aumento de la temperatura dentro de la cámara (27,27 ° C) en el mismo horario (10:00 am; 17:00 pm) en cambio, los datos de este mes (diciembre) presentaron una media de 23,07 ° C en el interior de la cámara, también se evidenció que las emisiones más bajas que se registraron el día 14 de enero del 2023 en los horarios de 9:00 am a 17:00 pm que coinciden con la disminución de la temperatura (20,89 ° C). El comportamiento de la humedad en el suelo registra diferentes cambios en función a las variables CO₂ y fecha, donde determina un incremento del 88,20 % en la humedad para el mes de diciembre para el sector Capulí, de mismo modo, la humedad asciende el mes de enero con un registro promedio de 92,73 %, sin embargo, no cumple con esa tendencia lineal como se puede observar en la figura 20 y 21.

En la misma figura 20 se puede observar la relación entre los flujos de CH₄ y la temperatura, misma que no mantiene una variación con respecto al incremento de la concentración del metano y el tiempo, el mayor pico de concentración del gas se registró el mes de diciembre en el sector Capulí el cual no coincide con los mayores registros en la variación de la temperatura dentro de la cámara (28,28 ° C) y la humedad del suelo (94,50 %) los cuales se registraron en el sector Punzara ya que para el sector Capulí la temperatura tendió a bajar (22,88 ° C) al igual

que la humedad (75,01 %) y al representar estos datos en la función pares podemos observar que no hay ninguna relación para ambas variables con respecto a la concentración de los gases.

La relación entre los flujos de N_2O , temperatura y humedad varían con respecto al incremento de la concentración y el tiempo, el mayor pico de concentración de óxido nitroso se registró el día 19 diciembre en horario de 17:00:00 pm a 18:00:00 pm, este coincide con la variación de la temperatura dentro de la cámara (28,28 ° C) y la humedad del suelo (94,50 %) en el sector del Capulí. Sin embargo, para las concentraciones bajas de se observaron el mes de enero en el sector Punzara el registro de temperatura (22,63 ° C) y humedad del suelo (88,2 %) también descendieron, determinando así una “relación” continua a los altos y bajos de las variables, sin embargo, estas variables variaron debido al mal clima lo cual al representar la gráfica no permitió la representación de lineal.

7. Discusión.

En la ciudad de Loja al existir 11.234 personas dedicadas a la agricultura y ganadería, el 75% está ubicado en zonas rurales y el 25% en áreas urbanas (INEC, 2010). Estas actividades generan grandes ingresos a las familias como sucede en ambas zonas de estudio en las cuales se determinó que para el sector Capulí el mayor ingreso económico en referencia a la parte ganadera es la producción de abonos a base de estiércol para su posterior venta a diferencia del sector Punzara donde sus ingresos se dan por la venta de ganado, leche y producción de queso. Según la FAO (2013), el 18% de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen del sector ganadero considerándolo como el tercer campo con mayor producción de gases donde el 44% está compuesto de metano, 29% de óxido nitroso y 27% de dióxido de carbono. Estos gases se concentran en la atmósfera producto de la fermentación entérica de algunos animales y perturban las propiedades del suelo en donde debido a ese tipo de escenarios, el sector Punzara presenta un elevado porcentaje de materia orgánica (13,41 %) a diferencia del Capulí (8,11 %) lo que indica mayores emisiones de dióxido de carbono, así lo afirma un estudio realizado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) en el 2015, la cual determina que la creciente concentración de CO₂ ha permitido que los microbios descompongan más rápido la materia orgánica y con ello la liberación de este gas en el suelo en grandes proporciones.

La liberación de los gases desde el suelo también depende de la retención de este, producto de propiedades como la textura y porosidad, ambas zonas de estudio presentaron una textura franco arenosa con una densidad aparente de 1,30 g/cm³ (Capulí) y 1,01 g/cm³ (Punzara) y según Dilustro et al. (2005), los suelos con textura media tienden a retener mayores concentraciones de CO₂ lo que corrobora lo dicho antes en los resultados de MO, sin embargo, al tener una textura en la cual la arena es el predominante Salinas (2018), menciona que este tipo de suelos suelen tener baja eficiencia en la acumulación de carbón. Por otra parte, Escobar (2011), alude que los gases de efecto invernadero también dependen directamente de la porosidad del suelo lo cual el 60 % favorece a los gases para su emisión, las zonas de estudio no sobrepasaron ni el 50 % con un 43,48 % para el Capulí y un 43,26 % lo que genera perturbaciones en el crecimiento de las raíces de las plantas disminuyendo procesos como la nitrificación y desnitrificación, permitiendo que las emisiones de N₂O sean bajas.

Las mayores concentraciones de dióxido de carbono se visualizaron en el mes de diciembre en el sector Punzara con una media de 788,22 ppm de CO₂ en contraste al Capulí que presentó concentraciones con una media de 359,19 ppm de CO₂, valores parecidos a los registros

máximos de Silva et al., (2013) en el que señala una media de 667 ppm de CO₂ relacionando este incremento por el reciente pastoreo en el suelo lo cual coincide con ambas zonas de estudio donde las mediciones fueron realizadas días después del pastoreo, si bien Punzara tiene mayores registros se debe al elevado contenido de materia orgánica en el suelo. Milan (2015), indica que el suelo al presentar altos niveles de MO va a existir mayor reserva de carbono y al ser un lugar con poca vegetación las emisiones de gases van a reflejarse en mayores proporciones, por otro lado, las concentraciones más bajas de CO₂ se visualizaron en el mes de enero con una media de 331,43 ppm para el Capulí y 241,17 ppm para Punzara, este deceso en la concentración se debe a la temperatura y humedad pues autores como Arenas (2015), señala en su estudio que estas variables actúan sinérgicamente activando o reduciendo la capacidad fotosintética de las plantas, disminuyendo así su tasa de respiración y con ello la reducción de las emisiones de CO₂. Aunque, Estellés (2007), señala en su investigación que la concentración de los gases tiende a bajar cuando hay mayor temperatura lo cual es contraproducente con autores como Sancho & Espinoza (2022), donde no lograron visualizar una correlación temperatura-concentración. En los días de muestreo del mes de enero (Capulí; 17, 18, 19, Punzara; 13, 14, 15) la temperatura oscilaba entre los 17,33 ° C con una precipitación media de 7,4 mm y una humedad relativa de 86,03 % en el exterior de la cámara a diferencia del interior (temperatura: 22,63 ° C, humedad: 88,20 %) para los días de muestreo en el sector Punzara, en cambio para el Capulí la temperatura media del exterior de la cámara fluctuaba entre los 18,03° C, una precipitación de 7,53 mm y una humedad relativa de 86,5 % en contraste al interior (temperatura: 23,07 ° C, humedad: 92,73 %) para los días que se hizo el muestreo en este sector.

En cuanto a las concentraciones de metano las emisiones más bajas se registraron en el mes de enero con una media de 0,54 ppm de CH₄ en el sector de Punzara a diferencia del Capulí que presentó una concentración promedio de 0,91 ppm de CH₄, estos valores son superiores a los mínimos registrados en el estudio de Savage et al., (2014) donde sus cámaras estáticas automatizadas determinaron una concentración de 0,03 ppm de metano en intervalos de 2 horas, esto se debe a que la zona de estudio (Howland Ridge) al ser un bosque de conservación hay poco ingreso de ganado vacuno para pastoreo. En cuanto a las concentraciones más altas se visualizaron en el mes de diciembre con una media de 4,60 ppm de CH₄ para Capulí y 1,20 ppm de CH₄ en el sector Punzara, valores cercanos al estudio de Muñoz et al., (2021) donde el registro máximo de CH₄ tuvo un valor de 2,10 ppm dentro de la cámara y 1,81 ppm fuera de la cámara, esta variación es producto de las condiciones aeróbicas del suelo y condiciones externas al lugar que modifican las concentraciones. Aunque el valor del Capulí supera la media

promedio de metano del sector Punzara, el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Ecuador (INGEI) 2012, cita en su resumen periódico de GEI que la variación en las concentraciones de los gases se debe a factores alternos que pueden modificar los registros, este ente menciona aspectos como la quema de residuos, fermentación entérica, uso de agroquímicos, entre otros, si bien estas sugerencias son para gases en la atmósfera lo podemos tomar como base a las posibles modificaciones en nuestros registros en suelos, lo cual explica el posible incremento de este gas para el sector Capulí dado que tras la observación en campo el día 21 de diciembre se registró alrededor de 6 cabezas de ganado vacuno durante las horas 4-6 pm, el día 22 se registró olores fuertes por la quema anónima de algún tipo de acontecimiento externo a la finca de trabajo. Pérez (2016), menciona que la presencia de rumiantes varió la concentración de gases en su estudio desde 0,55 ppm de CH₄ en ausencia de animales a 0,74 ppm CH₄ en presencia de animales, aunque no es la única variable a considerar pues Calle (2015), cita que la alta variedad en las concentraciones de metano se deben a los procesos de la metanogénesis y metanotrofia debido a presencia de estiércol producto de la fermentación entérica lo que convierte al suelo en un sumidero de metano, lo cual afirma el alto registro para el la zona de estudio “Hacienda los huevos” del sector Capulí misma que cuenta con un ingreso de más de 23 cabezas de ganado y 8 terneros que realizan únicamente pastoreo, aunque días antes al muestreo fueron movidas a otro sector por lo que la presencia de estiércol en el suelo fue evidente en grandes proporciones a diferencia de Punzara donde no había grandes volúmenes de estiércol debido a que en la zona de estudio hay un ingreso mínimo de ganado (5 cabezas de ganado). Este mismo autor (Calle), menciona que el incremento de metano dentro de la cámara estática se debe a procesos como la evapotranspiración la cual está relaciona con la temperatura y humedad, donde las concentraciones más altas 0,6 – 0,4 ppm de CH₄ se evidenciaron en los registros más altos de la temperatura (29 ° y 27 ° C). Sin embargo, esta última variable (humedad-temperatura) no se cumple en nuestro estudio debido a registros más altos en la temperatura para el sector Punzara y menor concentración del gas, Savage et al., (2014) menciona que el mínimo de concentración de metano con cámaras estáticas manuales (3,32 ppm) era superior a los máximos registrados por las cámaras estáticas automatizadas (1,2 ppm) debido a “puntos calientes temporales” captados por el mecanismo de control de temperatura, lo cual puede tener relación en el sector de muestreo Punzara donde la temperatura incrementaba en lapsos cortos pero a gran intensidad mientras se monitoreaba las cámaras.

Aunque, esta relación temperatura-humedad no se cumple en nuestra investigación para el gas metano los días de muestreo en el sector Punzara (23 de diciembre) la temperatura oscilaba

entre los 19 ° C, con una precipitación media de 6,7 mm y una humedad relativa de 87,3 % en el exterior de la cámara a diferencia del interior (temperatura: 28,28 ° C, humedad: 94,50 %) determinando a este sector con el mayor registro en la temperatura y humedad, en cambio para los días de muestreo del Capulí (17, 18, 19, 20, 21, 22) del mes de diciembre la temperatura media del exterior de la cámara fluctuaba entre los 18,43° C, con una precipitación de 12,38 mm y una humedad relativa de 86,65 % en contraste al interior (temperatura: 22,88 ° C, humedad: 75,01 %), al no cumplirse con la relación temperatura-humedad con la concentración de CH₄ como sucede en la mayoría de estudios analizados Olivo & Soto (2010), mencionan que está relación entre las variables temperatura-humedad y la concentración de los GEI no se cumple en climas con estaciones no definidas, como sabemos Loja tiene un clima variado donde la precipitación pueden modificar las mediciones no solo en la concentraciones de los gases sino en el funcionamiento de los equipos.

En cuanto al óxido nitroso, Avala (2022), define que la mayor producción de este gas proviene directamente del suelo debido a procesos de nitrificación y desnitrificación donde la materia orgánica juega un papel importante ya que al existir mayor presencia de esta variable la concentración del N₂O va a ser mayor esto se relaciona con Punzara al tener el contenido más alto en la materia orgánica (13,41 %) los mayores registros de óxido nitroso se encuentran en este lugar con un promedio de 0,43 ppm en el mes de diciembre a diferencia del sector Capulí que presenta una media de 0,20 ppm de N₂O para este mismo mes. Aunque vemos diferencias prudentes entre ambos sectores González & Camacho (2017), mencionan que las emisiones de N₂O pueden alterarse por la lixiviación, la volatilización y la esorrentía de fertilizantes nitrogenados, si bien no existe actividad agrícola en la zona de muestreo, nuestra experiencia en campo pudo visualizar que en la parte superior del sector había sembrío de maíz que en algunos casos necesita de fertilizantes para su conservación y al ser un lugar con pendientes fuertemente inclinadas de alrededor de 12 a 25 % acelera el proceso de infiltración lo que explica el registro elevado de materia orgánica y N₂O.

VARIABLES COMO TEMPERATURA Y HUMEDAD TIENDEN A incidir en las concentraciones de óxido nitroso, si bien se mencionó que el sector Punzara registró la mayor emisión de este gas, la temperatura también proyectó su registro más alto (28,28 ° C) lo cual coincide con Acuña (2017), en donde visualizó que las concentraciones de N₂O (3,27 ppm) tienden a incrementar debido a la temperatura dentro de la cámara (28 ° C), aunque esta investigación también considera el diseño de la cámara como variable influyente del ascenso de la temperatura

utilizando material aislante de calor lo cual para el primer diseño en nuestras cámaras no era una variable muy relevante, lo que explica la variabilidad en la humedad dentro de la cámara (Punzara; 94,50 %) para este registro de temperatura (28,28 ° C). A pesar de haber ciertas irregularidades en las concentraciones registradas y la literatura encontrada tomando en consideración que es una metodología nueva aplicada en nuestra ciudad, se pudo corregir varios aspectos dentro de la investigación como; envolver la cámara con papel reflectante, agregar material aislante en la tapa, cubrir los módulos con una especie de caja para evitar sobrecalentamiento con el sol y evitar el ingreso del agua por las lluvias con el fin de alargar el funcionamiento de los equipos y dar continuidad a esta la investigación en escenarios posteriores.

8. Conclusiones

Si bien las emisiones de los tres gases analizados varió dependiendo de las condiciones que prestaba cada lugar, factores físicos como la pendiente influyeron en la concentración de N_2O en el sector Punzara al existir posibles problemas de infiltración de la zona agrícola y con ello el elevado resultado en la materia orgánica, esta misma variable incidió en la reserva de carbono en el suelo lo que generó los mayores registros de CO_2 para este mismo sector, por otra parte, las concentraciones de CH_4 se vieron influidas por aspectos antrópicos como la presencia de ganado vacuno lo que generó procesos de fermentación entérica modificando las condiciones aeróbicas del suelo y generando mayores concentraciones para el sector Capulí.

Se logró visualizar que para el CO_2 y N_2O la relación humedad-temperatura en función a la concentración únicamente se efectuó para los registros más altos (mayor temperatura-menor humedad) y registros más bajos (menor temperatura-mayor humedad), sin embargo, esto no se cumple para todas las muestras registradas debido a la variabilidad de las condiciones climáticas durante el muestreo por lo que podemos ultimar que en la ciudad de Loja aplicar esta relación podría presentar sesgo en los datos.

El uso de cámaras estáticas en conjunto con los sistemas automatizados fue una alternativa viable para el monitoreo de los GEI en suelos ganaderos de las zonas de estudio con la incorporación de un sensor para cada gas, al analizar las muestras se determinó que las concentraciones de CO_2 en la periferia urbana sur de la ciudad Loja oscilan entre 200-400 ppm, asimismo, las concentraciones de CH_4 varían entre 0-2 ppm y las concentraciones de N_2O repercuten entre 0-0,1 ppm.

9. Recomendaciones

- Durante el diseño de las cámaras estáticas se debe utilizar material aislante de calor para evitar sobrecalentamiento de los equipos con el suelo y el ingreso de agua por precipitaciones.
- Evitar fugas en las bases colocadas en el suelo, asimismo, acentuar correctamente las bases según las dimensiones a trabajar dentro del proyecto para evitar errores en la medición de los gases.
- Tras los resultados obtenidos se recomienda realizar un monitoreo diario en un periodo de dos meses para que las variaciones de los gases se estabilicen y así poder relacionarlo con variables como humedad y temperatura.
- La calibración de los equipos puede tomar tiempo dependiendo del datasheet de cada sensor para realizar la curva de sensibilidad y poder estabilizar el sensor por lo que se recomienda adquirir primero estos equipos y calibrarlos con anticipación al diseño de las cámaras para realizar el monitoreo directo.
- El uso de Python facilita a través de sus librerías el diseño de un dashboard aunque generar el código y utilizar Google colab permite mayor comodidad para personas con poca experiencia en esta área.

10. Bibliografía

- Abbas, I., Liu, J., Faheem, M., Noor, R. S., Shaikh, S. A., Solangi, K. A., & Raza, S. M. (2020). Different sensor based intelligent spraying systems in Agriculture. *Elsevier*, 7.
- Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). (2015). *El suelo y el cambio climático*. EEA.
- Abdalrdha, Z. K., Saadoon, I. M., Abud, E. N., & Abba, F. N. (2020). Capable of Gas Sensor MQ-135 to Monitor the Air Quality with Arduino uno . *Engineering Research and Technology*, 2955-2959.
- Alava, D. C. (2022). *Rumiantes y emisión de gases de efecto invernadero*. Babahoyo.
- Alonso, N. F. (2015). *Modelado e identificación del sistema de emisiones y concentración de CO2*. Valladolid.
- Arbeláez, B. I., & Acevedo, J. A. (2011). Los Sensores Remotos en los Proyectos de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero. *Entorno Geográfico No. 7-8*, 67.
- Arias-Navarro, C., Díaz-Pinés, E., K. R., Rosenstock, T. S., Rufino, M. C., & Stern, D. B.-B. (2013). Gas pooling: A sampling technique to overcome spatial heterogeneity of soil carbon dioxide and nitrous oxide fluxes. *Soil Biology and Biochemistry*, 20–23.
- Ballesteros, H. O., & Aristizabal, G. L. (2007). *Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático*. Bogotá: IDEAM.
- Barber Estellés, F. (2007). *Diseño y puesta en funcionamiento de una cámara dinámica para*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Blake, G. R., & Hartge, K. (1986). Methods of soil analysis, part 1, physical and mineralogical methods. *Agronomy Monograph no. 9 (2nd ed.)*, 377-382.
- Bouzán, G., & Droguet, C. (2002). La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: identificación de compuestos causantes de mal olor. *UPCommons*, 36.
- Burbano, C. (2016). *Sistema de Monitoreo de Gases de Efecto Invernadero de Económica Implementación*. Cali: Universidad Católica Lumen Gentium.
- C, M., Saggarr, S., Berben, P., Giltrap, D., & Jha., N. (2011). Influence Of Waiting Time After Insertion Of Base Chamber into Soil on Produced Greenhouse Gas Fluxes. *Chilean*, 610-614.
- Cajo, R. (2013). *Evaluación de la Plataforma Arduino e Implementación de un Sistema de Control de Posición Horizontal*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana .
- Calderón, S. D. (2012). *Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del Plantel El Alto en Ochoмого, RECOPE*. Cartago: TEC.

- Calle, L. N. (2015). *Diseño de cámara estática cerrada y medición de flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia .
- CEPAL. (2020). *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe ¿Seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?* Santiago: Naciones Unidas .
- Collado, M. C. (2019). *Monitorización de sensores con arduino utilizando el protocolo MQTT*. Barcelona: UPC.
- Correa, J., & Zavala, I. (2019). *Desarrollo de un prototipo portable para medición y recolección de datos de emisiones de gases vehiculares*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana .
- Cumpa, V. (2017). *Reducción de la emisión del gas metano atmosférico utilizando técnicas de riego en suelo arcilloso en cultivo de Oryza Sativa l en condiciones climáticas*. 2017: UCV-Scientia.
- Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad* , 227-240.
- Dilustro, J., Collins, B., Duncan, L., & Crawford, C. (2005). Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. *Forest Ecology and Management*, 87-97.
- Escobar, A. (2011). *Mitigação das emissões de gases de efeito estufa por sistemas conservacionistas de manejo de solo. Tese Dou*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FAO . (2015). *Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura*. Roma: FAO.
- FAO. (2013). Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. En P. S. Gerber, *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones* (pág. 18). Roma.
- FAU. (2015). *Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura*. Roma: Publicaciones FAO.
- Fort, R. (2012). *Emisión de gases de efecto invernadero en el tratamiento de aguas residuales mediante humedales construidos*. Barcelona: UPC.
- Gagnona, S., L'Héroult, E., Mickael Lemaya, C., & Allarda., M. (2016). Nuevo sistema automatizado de bajo costo de cámaras cerradas para medir las emisiones de gases de efecto invernadero de la tundra. *Meteorología agrícola y forestal*, 30.

- Gagnona, S., L'Héraulta, E., Mickael Lemaya, C., & Michel Allarda. (2016). Nuevo sistema automatizado de bajo costo de cámaras cerradas para medir las emisiones de gases de efecto invernadero de la tundra. *Meteorología agrícola y forestal*, 30.
- García, C. G. (2021). *El sector transporte en la unam como emisor de gases de efecto invernadero*. Ciudad de México .
- González, A., & Camacho, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero de la fertilización nitrogenada en México. *Ciencias Agrícolas* , 1733-1745.
- González, R. (2015). Python para todos. En R. González, *Python para todos* (pág. 7). Barcelona: Creative Commons Reconocimiento.
- Gonzalo, V. d. (2020). *Diseño de implementación de un sistema portátil de medida de emisiones de CO2*. Madrid .
- Hernández, E. K. (2018). *Efecto de las propiedades edáficas y la composición vegetal sobre los patrones de emisión de N2O, CH4 y CO2 en el Parque Nacional Palo Verde*. San José.
- Hernández, E. O., & Sosa, E. G. (2020). Comparación de la evapotranspiración obtenida por el método de eddy covariance y métodos semiempíricos en una zona semiárida. *Estancias*, 96.
- Hinojosa, A. (2004). *Análisis de Monómero Residual en Materiales Poliméricos*. Saltillo: CIQA.
- Hutchinson, G., & Livingston, G. (2001). Vents and seals in non-steady-state chambers used for measuring gas exchange between soil and the atmosphere. *Eur. J. Soil Sci*, 675–682.
- INEC. (2010). *Censo de población y vivienda 2010*. Loja. Obtenido de [http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/Portal SNI 2014/FICHAS F/1101_LOJA_LOJA.pdf](http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/1101_LOJA_LOJA.pdf)
- IPCC. (2016). *Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres*.
- LASAB. (2013). *Metodologías de Análisis Físico Químico de Suelo, Aguas y Foliaves*. Loja.
- Latha, N. A., Murthy, B. R., & Kumar, K. B. (2016). Distance Sensing with Ultrasonic Sensor and Arduino. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 3.
- Leiva, J., Palacios, A., & Aguado, J. A. (2016). Smart metering trends, implications and necessities: A policy review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 227–233.

- Lewczuk, A. N. (2017). *Estudio de las emisiones de óxido nitroso en sistemas agrícolas de la región Pampeana*. Buenos Aires: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Londoño, C. A. (2006). Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería (Córdoba, Colombia). *Ingenierías Universidad de Medellín*, 86.
- MAE. (2016). *Reporte del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2010 de Ecuador*. Quito: Ministerio del Medio Ambiente .
- MAE. (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Quito: Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- Maldonado, A. (2016). *Evaluación de Diferentes Dosis de Hexaamonió Fosfato de Sodio (NaPO₃)₆, en la Determinación de tres tipos Texturales de Suelo, Mediante el Método de Bouyoucos*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Manrique, V. (2014). Ciencia básica de los efectos del metano sobre el cambio climático. Estado del arte y escenario de reducción. En V. Manrique, *Ciencia básica de los efectos del metano sobre el cambio climático. Estado del arte y escenario de reducción*. (pág. 29). Santander.
- María, O., & Alejandra, S. (2010). Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 221-230.
- Marrón SLA, C. G. (2020). CO de bajo costo detección: un enfoque de microcontrolador simple con calibración y uso en campo. *HardwareX*, 2.
- Martínez, D. (2017). *Metodología para el diseño de Dashboards orientado hacia el registro de evidencias en el proceso de evaluaciones institucionales*. Puyo: UNIR.
- Mejía, L. E. (2017). *Sistema para la Gestión de los Gases de Efecto Invernadero en el Banco Central de Costa Rica*. Cartago: TEC.
- Michel, Á. L., & Zamudio, E. R. (2014). China y Estado Unidos, compromisos para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. *CIMEXUS*, 92.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2016). *Resumen del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Ecuador. Serie temporal 1994-2012*. Quito.
- Municipio de Loja. (2021). *Plan de uso y Gestión del Suelo del Cantón Loja*. Loja.
- Navarrete, G. G., & Soto, K. G. (2020). Sensores de Bajo Costo para el Monitoreo de Calidad del Aire. *EPISTEMUS*, 30-37.
- OMM. (2020). *Boletín sobre los gases de efecto invernadero (2020)*. Ginebra : OMM Press.

- Orjuela, H. B. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Ciencias Agrícolas*, 85.
- Ortíz, N. (2023). *Estimación indirecta de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) en el sector agrícola y ganadero de la zona sub urbana del norte de la ciudad de Loja*. Loja: Loja.
- Palacios, J., Falcón, N., & Muñoz, E. (2015). Diseño y Construcción de Sensores Automatizados de Gases de Efecto Invernadero en la Baja Troposfera. *INGENIUS*, 21-29.
- Pellegrini, A. (2019). *Textura y Color del Suelo*. Quito.
- Pérez, B. (2016). *Secuestro de carbono y emisiones CO₂ en ecosistemas forestales gallegos: materia orgánica edáfica y cambio global*. Santiago de compostela: Universidad de Santiago de Compostela CSIC - Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia (IIAG).
- Pérez, J. H. (2021). Efecto del consumo de energía renovable en las emisiones de gases de efecto invernadero en países con ingresos bajos y altos. *Multidiciplinary*, 2-3.
- Pinto, W. (2015). *Monitoreo de Cultivos con Redes de Sensores XBEE, Arduino y Dispositivos de Medición de Suelos*. Pereira.
- Portilla, V. (2021). *Diseño, creación e implementación de un Dashboard para el seguimiento de peticiones de servicios en el área de mantenimiento, planeación y control de FORD España*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Rincón, L. E., & Gutiérrez, F. A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 285-295.
- Rodríguez, A. A., Torres, L. J., Maila, D. K., & Manzur, B. N. (2018). Sistema de riego automatizado con arduino. *ESPACIOS*, 27.
- Rodríguez, C. (2021). *Evaluación de los flujos de gases de efecto invernadero (co₂, ch₄, n₂o) del suelo, en una plantación de palma aceitera (Elaeis Guineensis jacq.), durante la fertilización nitrogenada en campo verde, Ucayali*. Pucallpa.
- Rodríguez, G. S. (2021). *Efecto de la fertilización nitrogenada en las emisiones de óxido nitroso e incidencia de plasmopara vitícola en cultivo de uva isabella (vitis labrusca l.) en Cerrito, Valle del Cauca, Colombia*. Palmira.
- Saldaña, A. (2014). Emisiones de oxido nitroso en suelos con diferente cobertura vegetal en Coatzacoalcos, Ver., México. *Iberoamericana de Ciencias*, 18.

- Sampaio, E. P. (2009). Estudio de las Prácticas Culturales, Porosidad del Suelo y Gestión Hídrica en el Combate contra la Desertificación. *Información Tecnológica Vol. 20*, 101-112.
- Sánchez, Y. C. (2020). *Estimación de emisiones de dióxido de carbono y almacén de carbono orgánico en usos de suelos forestales*. Chapingo.
- Sancho, E., & Espinoza, D. (2022). Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia. *Perspectivas Rurale*, 1-19.
- Santillán, J. R. (2015). *Determinación, mediante GC, del contenido de CO₂ y H₂S para el control de calidad del gas natural*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Savage, K., Phillips, R., & Davidson, E. (2014). High temporal frequency measurements of greenhouse gas emissions from soils. *Biogeosciences*, 2709–2720.
- Silva, A., Gómez, A., Landazury, B., & Preciado, B. (2013). Evaluación de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas ganaderos asociados con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov). *Ciencia Animal, Vol. 6, No. 1*, 36-43.
- UBA. (2019). Técnicas para medir o estimar las emisiones de gases de efecto invernadero. *Revista Argentina de Producción Animal*, 65.
- Valarezo, C. (1998). *Condiciones Físicas de los Suelos de La región Sur del Ecuador*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Vílchez, B. A. (2017). *Evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero en tres sistemas de uso de suelos en la microcuenca Tecomapa, municipio de Somotillo, Chinandega-Nicaragua*. Managua: Universidad Nacional Agraria .
- Vogel, P. (2017). *A Dashboard for Automatic Monitoring Python Web Services*. Groninga: University of Groningen.

11. Anexos

Anexo 1. Problema de Investigación

El cambio climático es el problema ambiental más grande que existe en el mundo actualmente, altera los niveles de producción y cambia las formas de vida en el planeta (Michel & Zamudio, 2014). A lo largo de los años se ha podido evidenciar a través de registros históricos y geológicos los diferentes cambios en la temperatura, que desde 1850 aumentado $0,74^{\circ}\text{C}$ y se pronostican incrementos de 1°C a 6°C para el año 2100 (Harvey, 2008). Esto ha provocado alteraciones en los diferentes ecosistemas que existen en nuestro planeta, debido a que ciertos fenómenos como la sequía tienden a presentarse con mayor intensidad, frecuencia y duración lo que provoca un impacto negativo para el desarrollo económico, social, cultural y ambiental (Londoño, 2006).

La temperatura de nuestro planeta está relacionada con los gases que conforman la atmósfera que se pueden encontrar en grandes cantidades (nitrógeno 78,1% y oxígeno 20,9 %), más una serie de oligogases (argón 0,93%), gases de efecto invernadero (dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O)), helio, vapor de agua (1%) y aerosoles (Ballesteros & Aristizabal, 2007).

Los gases de efecto invernadero se encuentran en la atmósfera como naturales y antropogénicos, donde los GEI por acciones naturales se liberan por la respiración de plantas, erupciones volcánicas, materia orgánica del suelo, entre otros, absorben radiación en determinadas longitudes de onda del espectro, ayudando a mantener la temperatura media del planeta. Por otro lado, los GEI por acciones antropogénicas son generados por las actividades del ser humano como los halocarbonos que por su alto contenido de cloro, bromo, flúor y carbono se mezclan en la atmósfera y causan el deterioro de la capa de ozono (García, 2021).

Las diferentes actividades producidas por el ser humano (cultivo, ganadería, deforestación, combustión de combustibles fósiles, etc) han generado grandes impactos en el medio ambiente y con ello el incremento de los GEI. Los promedios mundiales de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso alcanzaron altos niveles en el 2020 registrando concentraciones de $413,2 \pm 0,2$ ppm CO_2 , $1\ 889 \pm 2$ ppm CH_4 y $333,2 \pm 0,1$ ppm N_2 , que a diferencia de otros años ha existido un incremento considerable ya que desde 1750 estos valores suponen aumentos del 149 %, 262 % y 123 %, respectivamente (OMM, 2020).

El sector ganadero es considerado el tercer campo con mayor emisión de gases de efecto invernadero en el mundo con el 18% de emisiones donde el 44% está compuesto de metano,

29% de óxido nitroso y 27% de dióxido de carbono (FAO, 2013). En Ecuador las emisiones totales de CO₂ alcanzaron un total de 77.679,08 Gg de CO₂ eq las cuales provienen del sector USCUS (Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura). Por otro lado, la concentración de CH₄ alcanzaron un total de 11.507,83 Gg que provienen de actividades como la “Fermentación entérica” (85,54%) y diferencia sectorial (3,12%) que corresponde al “Manejo de estiércol”. Las emisiones de N₂O alcanzaron un total de 7.350,97 Gg correspondiendo el 95,16% al sector Agricultura esto debido al uso de suelos agrícolas (97,14%) y manejo de estiércol y quema de residuos agrícolas (MAE, 2016).

En la ciudad de Loja existen 11.234 personas dedicadas a la agricultura y ganadería, el 75% está ubicado en zonas rurales y el 25% en áreas urbanas, estas actividades son importantes fuentes de ingresos económicos para las algunas familias (INEC, 2010). Sin embargo, esto trae consigo impactos negativos al ambiente en especial a la atmósfera ya que emanan GEI y se desconoce el grado de concentración de estos debido a la falta de información y estudios realizados en nuestra ciudad. Es por eso, que este proyecto pretende cuantificar las emisiones de los gases de efecto invernadero a través de cámaras estáticas cerradas con la finalidad de determinar las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), en el área ganadera al sur de la ciudad de Loja, para lo cual se ha planteado la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son las cantidades de CO₂, CH₄ y N₂O emitidas a la atmósfera por las actividades ganaderas en la periferia urbana al sur de la ciudad de Loja?

Anexo 2. Justificación

La medición de gases de efecto invernadero es un tema muy importante en nuestro día a día y al tener al cambio climático en cuenta regresiva, es fundamental para el ser humano tomar medidas de mitigación ante este problema. Por lo cual, la presente investigación tiene como finalidad, cuantificar las cantidades de CO₂, CH₄ y N₂O emitidas a la atmósfera por las actividades ganaderas en la periferia urbana al sur de la ciudad de Loja, mediante cámaras estáticas cerradas que si bien es una metodología muy utilizada para la medición de GEI sobre sistemas ganaderos no ha sido aplicada en la zona sur de nuestra ciudad y se aportaría en la obtención de nuevos datos a través de una metodología alternativa como es el uso de sensores. Este equipamiento permite una medición económicamente viable y confiable debido a que utiliza tecnología de guía de ondas infrarrojas no dispersa (NDIR) con un algoritmo de calibración según el gas a tratar, posterior a esto dichos datos serán cuantificados y difundidos a la colectividad en una página web aplicando un dashboard interactivo, con la finalidad de mostrar las concentraciones de estos gases en las diferentes áreas de estudio. Además, la

información generada en el presente trabajo contribuirá al proyecto de investigación “Gestión de gases de efecto invernadero en el sector AFOLU en la periferia urbana de la ciudad de Loja”.

La línea de investigación de este proyecto se rige al “Manejo de la contaminación ambiental”, estipulada en la carrera de IMCMA. Tiene un alcance exploratorio-descriptivo ya que se preparará la zona de estudio, se estudiarán los fenómenos y sus componentes. Esta investigación aportará con datos a nivel local para el estudio del cambio climático, la toma de decisiones para la disminución de los GEI en las diferentes zonas ganaderas o sugerencias que contribuyan al desarrollo de un sistema de gestión de gases de efecto invernadero, bajo estructuras más ecológicas para la ciudad de Loja, en marcándose a un desarrollo sostenible que va de la mano con lo económico, social y ambiental.

Anexo 3. Encuesta sector ganadero



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA



PROYECTO LOJA AIRE

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

La presente encuesta con fines académicos tiene la intención de recopilar información sobre las actividades ganadera del sector sub urbano de la ciudad de Loja

Encuesta a propietarios de la tierra en el sector de estudio

Datos generales

Fecha de aplicación: / /2023

Nombre del propietario: _____

Sector: _____

GANADERO

1. Datos Generales

1.1. ¿Cuál es la actividad que se dedica usted?

a. Ganadería

d. Comercio

b. Transporte

e. Artesano

c. Agricultura

f. Otro

1.2. Seleccione, ¿Qué tipo de actividades ganaderas generan ingresos económicos?

a. Leche

d. Venta o intercambio de ganado

b. Queso

e. Producción de estiércol para abonos orgánicos

c. Engorde de ganado

f. Otro

1.3. Características del ganado

Tipo	Número de especies	Frecuencia de pastoreo	Dieta: Sí o No
Vaca Adulta			
Toro			
Ternero			

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

Anexo 4. Resultados de análisis físicos y químicos sector Punzara

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
	Rev. 5	
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	

Informe N°: LN-SFA-E22-2161
Fecha emisión Informe: 10/01/2023

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Jhandry Santiago Maza Yaguache
Dirección¹: Sauces Norte **Teléfono¹:** 0968548107
Correo Electrónico¹: jhandry10@hotmail.com
Provincia¹: Loja **N° Orden de Trabajo:** 11-2022-421
N° Factura/Documento: 012-001-000001574
Cantón¹: Loja

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra¹: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco		
Cultivo¹: Pasto			
Provincia¹: Loja	Coordenadas¹:	X: 697180.6	
Cantón¹: Loja		Y: 9551948.7	
Parroquia¹: Punzara		Altitud: 2483	
Muestreado por¹: Jhandry Maza			
Fecha de muestreo¹: 13/12/2022	Fecha de inicio de análisis: 29/12/2022		
Fecha de recepción de la muestra: 29/12/2022	Fecha de finalización de análisis: 10/01/2023		

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2534	Punzara	Materia Orgánica	Volumétrico PEE/SFA/09	%	13,46
		Nitrógeno	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,67
		Densidad Real	Picnómetro PEE/SFA/25	g/ml	1,78
		Arena	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	54
		Limo	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	30
		Arcilla	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	16
		Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20	---	Franco Arenoso

Analizado por: Edison Vega, Paulina Llve

Observaciones:

- Informe revisado por: Edison Vega
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.



AGROCALIDAD
AGENCIA DE REGULACIÓN Y
CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO

LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS

Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del
MAGAP, Tumbaco - Quito
Teléf.: 023828860 Ext. 2080

PGT/SFA/09-FO01

Rev. 5

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO

Hoja 2 de 2

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA

PARÁMETRO	MO (%)	N (%)
BAJO	< 1,0	< 0,15
MEDIO	1,0 - 2,0	0,15 - 0,30
ALTO	> 2,0	> 0,30

FUENTE: INIAP. 2002



EDISON OSWALDO
VEGA HIDALGO

Ing. Edison Vega
Responsable de Laboratorio
Suelos, Foliar y Aguas

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Anexo 5. Resultados de análisis físicos y químicos sector Capulí

 AGROCALIDAD <small>AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO</small>	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 5 Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E22-2162
 Fecha emisión Informe: 10/01/2023

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Jhandry Santiago Maza Yaguache
Dirección¹: Sauces Norte **Teléfono¹:** 0968548107
Correo Electrónico¹: jhandry10@hotmail.com
Provincia¹: Loja **Cantón¹:** Loja **N° Orden de Trabajo:** 11-2022-421
N° Factura/Documento: 012-001-000001574

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra¹: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo¹: Pasto		
Provincia¹: Loja	Coordenadas¹:	X: 700318.546
Cantón¹: Loja		Y: 9551647
Parroquia¹: San Sebastián		Altitud: 2020
Muestreado por¹: Jhandry Maza		
Fecha de muestreo¹: 13/12/2022	Fecha de inicio de análisis: 29/12/2022	
Fecha de recepción de la muestra: 29/12/2022	Fecha de finalización de análisis: 10/01/2023	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2535	Capulí	Materia Orgánica	Volumétrico PEE/SFA/09	%	8,11
		Nitrógeno	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,41
		Densidad Real	Picnómetro PEE/SFA/25	g/ml	2,30
		Arena	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	56
		Limo	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	32
		Arcilla	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	12
		Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20	---	Franco Arenoso

Analizado por: Edison Vega, Paulina Llive

Observaciones:

- Informe revisado por: Edison Vega
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.



AGROCALIDAD
AGENCIA DE REGULACIÓN Y
CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO

LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS

Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del
MAGAP, Tumbaco - Quito
Teléf.: 023828860 Ext. 2080

PGT/SFA/09-FO01

Rev. 5

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO

Hoja 2 de 2

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA

PARÁMETRO	MO (%)	N (%)
BAJO	< 1,0	< 0,15
MEDIO	1,0 - 2,0	0,15 - 0,30
ALTO	> 2,0	> 0,30

FUENTE: INIAP. 2002



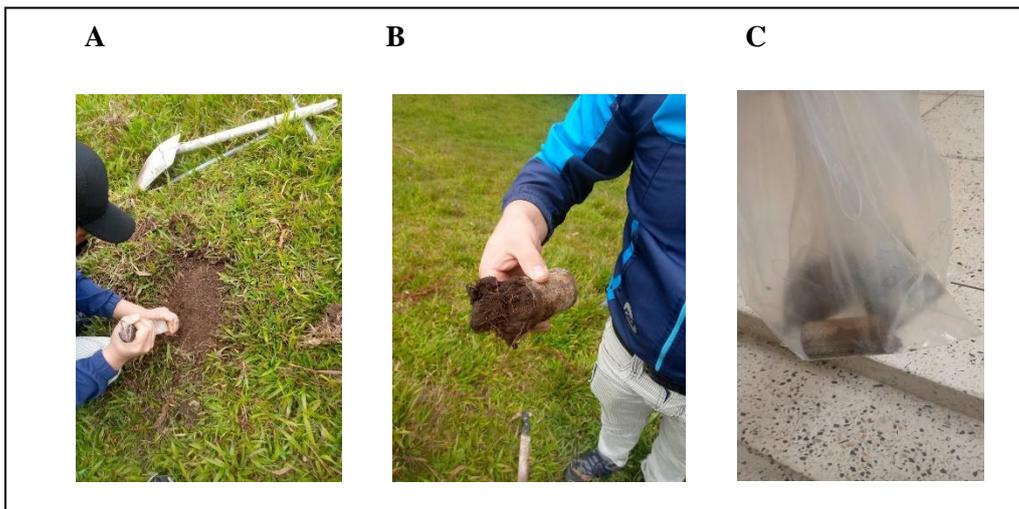
EDISON OSWALDO
VEGA HIDALGO

Ing. Edison Vega
Responsable de Laboratorio
Suelos, Foliare y Aguas

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

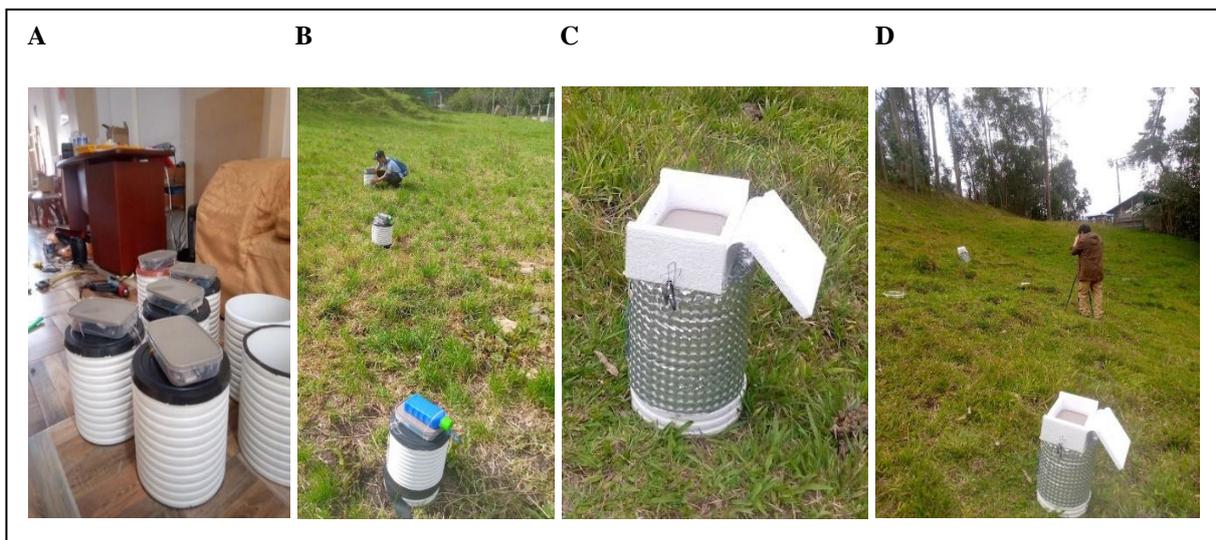
¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Anexo 6. Toma de muestras y análisis de la DA.



A: Toma de muestra; B: Muestra en anillo Kopecky; C: Traslado de muestras al laboratorio de química de la UNL.

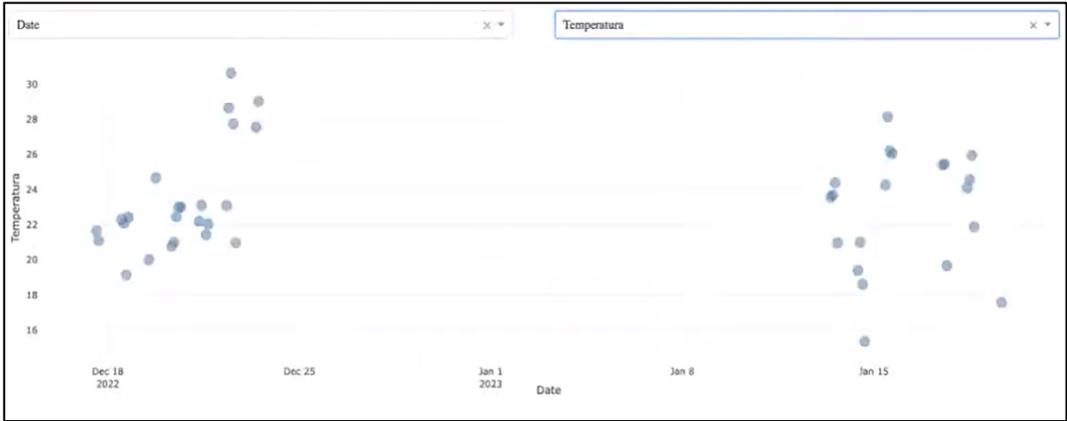
Anexo 7. Fases de las cámaras.



A: Primer diseño de cámaras; B: Medición en campo con el primer diseño; C: Segundo diseño de cámaras; D: Medición en campo con el segundo diseño.

Anexo 8. Dashboard.

A.



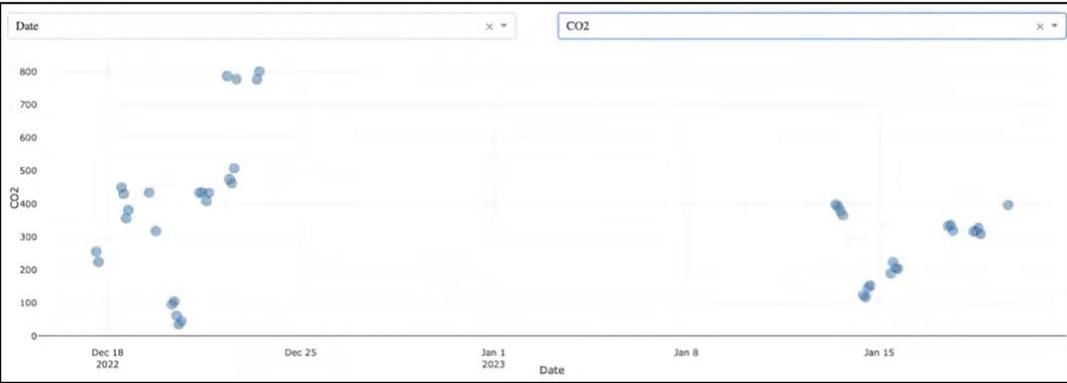
B.



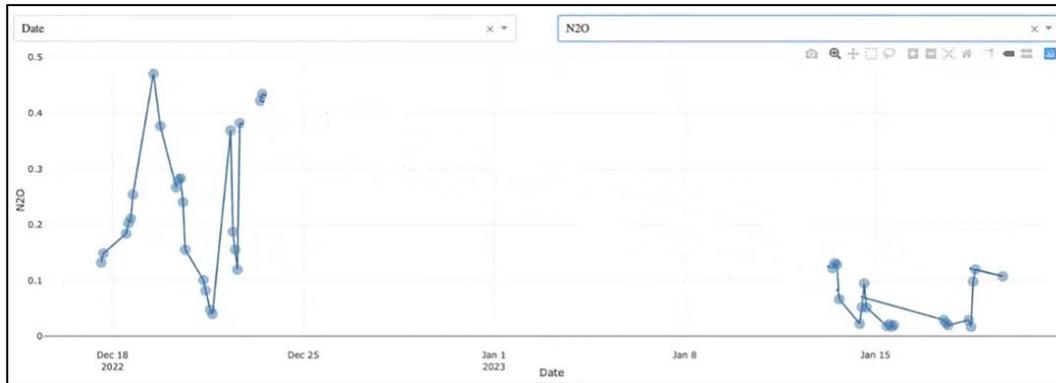
C.



D.



E.



A: Fecha en función de la temperatura; B: Fecha en relación de la humedad; C: Fecha en función del metano; D: Fecha en relación al dióxido de carbono; E: Fecha en función del óxido nitroso.

Anexo 9. Tabla de almacenamiento de datos.

Fecha	Hora	Sector	CH₄	CO₂	N₂O	Humedad	Temperatura	MO	Da	Dr	Po	N	Suelo
17/12/2022	14:00:00	Capulí	4.22	254.66	0.13	57.71	21.65	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
17/12/2022	16:00:00	Capulí	1.98	223.81	0.15	57.03	21.09	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
18/12/2022	12:00:00	Capulí	2.67	449.02	0.18	80.60	22.31	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
18/12/2022	14:00:00	Capulí	2.38	429.83	0.20	82.42	22.08	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
18/12/2022	16:00:00	Capulí	4.62	355.80	0.21	88.50	19.13	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
18/12/2022	18:00:00	Capulí	4.14	380.70	0.25	88.14	22.43	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
19/12/2022	12:00:00	Capulí	4.19	434.00	0.47	84.00	20.00	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
19/12/2022	18:00:00	Capulí	4.09	317.33	0.38	81.83	24.67	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
20/12/2022	8:00:00	Capulí	2.80	95.56	0.27	55.20	20.78	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
20/12/2022	10:00:00	Capulí	4.83	104.40	0.28	56.00	21.00	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
20/12/2022	12:00:00	Capulí	4.25	61.34	0.28	58.00	22.45	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
20/12/2022	14:00:00	Capulí	4.87	35.21	0.24	56.00	23.00	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
20/12/2022	16:00:00	Capulí	5.64	44.77	0.16	51.50	23.00	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
21/12/2022	8:00:00	Capulí	7.19	432.91	0.10	81.77	22.18	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
21/12/2022	10:00:00	Capulí	7.37	434.11	0.08	81.98	23.11	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
21/12/2022	14:00:00	Capulí	6.97	408.52	0.05	89.17	21.43	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
21/12/2022	16:00:00	Capulí	7.21	432.45	0.04	83.82	22.05	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
22/12/2022	8:00:00	Capulí	4.24	786.26	0.37	89.04	23.09	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
22/12/2022	10:00:00	Capulí	1.86	474.58	0.19	84.23	28.65	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
22/12/2022	12:00:00	Capulí	7.28	462.48	0.16	76.29	30.63	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
22/12/2022	14:00:00	Capulí	6.66	507.29	0.12	73.28	27.73	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
22/12/2022	16:00:00	Capulí	1.66	777.20	0.38	93.73	20.97	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
17/1/2023	12:00:00	Capulí	0.62	331.99	0.03	90.60	25.40	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
17/1/2023	14:00:00	Capulí	0.19	335.73	0.02	90.94	25.44	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
17/1/2023	16:00:00	Capulí	0.14	318.8	0.02	93.00	19.67	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
18/1/2023	10:00:00	Capulí	1.51	316.00	0.03	93.54	24.09	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
18/1/2023	12:00:00	Capulí	1.13	316.88	0.02	92.56	24.56	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso

18/1/2023	14:00:00	Capulí	1.15	327.23	0.10	94.84	25.94	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
18/1/2023	16:00:00	Capulí	0.82	308.69	0.12	93.69	21.86	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
19/1/2023	16:00:00	Capulí	1.70	396.13	0.11	92.65	17.57	8.11	1.3	2.3	43.48	0.41	Franco Arenoso
23/12/2022	10:00:00	Punzara	1.17	776.28	0.42	95.00	27.56	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
23/12/2022	12:00:00	Punzara	1.23	800.15	0.43	94.00	29.00	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
13/1/2023	10:00:00	Punzara	1.62	397.32	0.12	83.18	23.57	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
13/1/2023	12:00:00	Punzara	1.53	392.06	0.13	86.13	23.67	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
13/1/2023	14:00:00	Punzara	1.50	378.84	0.13	87.8	24.38	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
13/1/2023	16:00:00	Punzara	0.73	365.08	0.07	89.66	20.95	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
14/1/2023	10:00:00	Punzara	0.14	123.10	0.02	90.88	19.4	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
14/1/2023	12:00:00	Punzara	0.15	118.33	0.05	90.35	20.99	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
14/1/2023	14:00:00	Punzara	0.24	145.46	0.09	90.76	18.61	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
14/1/2023	16:00:00	Punzara	0.15	152.74	0.05	92.26	15.35	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
15/1/2023	10:00:00	Punzara	0.11	189.26	0.02	87.87	24.26	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
15/1/2023	12:00:00	Punzara	0.12	223.13	0.02	84.71	28.13	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
15/1/2023	14:00:00	Punzara	0.09	205.53	0.02	88.50	26.19	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso
15/1/2023	16:00:00	Punzara	0.12	203.23	0.02	86.27	26.04	13.46	1.01	1.78	43.26	0.67	Franco Arenoso

Loja, 27 de septiembre de 2023

Lic.
Diana Abigail Torres

A petición verbal de la parte interesada:

CERTIFICA

Que, la presente traducción de español a inglés del resumen de la tesis denominada **“Medición de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas en la periferia urbana sur de la ciudad de Loja.”** de autoría de **Jhandry Santiago Maza Yaguache**, con cédula de identidad número **1104421746**, fue realizado y revisado por Diana Abigail Torres con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, mención Idioma Inglés, con número de registro en Senescyt 1008-2023-2681689. En consecuencia, esta traducción se considera válida para ser utilizada con fines académicos.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente

Atentamente,



Diana Abigail Torres
CI: 1105887788
Registro en Senescyt:
1008-2023-2681689
Licenciada en Inglés