



**UNAP**



**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ECOLOGÍA DE  
BOSQUES TROPICALES**

**TESIS**

**"EMISIONES DIURNAS Y NOCTURNAS DE CH<sub>4</sub> Y N<sub>2</sub>O EN LA TURBERA DE  
QUISTOCOCHA EN LORETO, PERÚ, 2021"**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ECOLOGÍA DE BOSQUES TROPICALES**

**PRESENTADO POR:**

**EDGAR PEAS GARCÍA**

**ASESOR:**

**Ing. RODIL TELLO ESPINOZA, Dr.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2022**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS Nº 053-CTG-FCF-UNAP-2022**

En Iquitos, en la sala de conferencias de la Facultad de Ciencias Forestales, al 07 día del mes de setiembre del 2022, a horas 08:00 a.m., se dio inicio a la sustentación pública de la tesis: **EMISIONES DIURNAS Y NOCTURNAS DE CH4 Y N2O EN LA TURBERA DE QUISTOCOCHA EN LORETO, PERÚ, 2021**", aprobado con R.D. Nº 0166-2021-FCF-UNAP, presentado por el bachiller **EDGAR PEAS GARCIA**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El jurado calificador y dictaminador designado mediante R.D. Nº 0314-2022-FCF-UNAP, está integrado por:

Ing. Jorge Luis Rodriguez Gomez, Dr.	: Presidente
Ing. Lizardo Manuel Fachin Malaverri, M.Sc.	: Miembro
Blgo. Joel Vasquez Bardales, M.Sc.	: Miembro
Ing. Rodil Tello Espinoza, Dr.	: Asesor

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: Satisfactoriamente


El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:


La sustentación pública y la tesis han sido: Aprobada con la calificación de Bueno

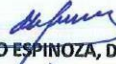
Estando el bachiller apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales.

Siendo las 9:10 Se dio por terminado el acto académico

  
Ing. JORGE LUIS RODRIGUEZ GOMEZ, Dr.  
Presidente

  
Ing. LIZARDO MANUEL FACHIN MALAVERRI, M.Sc.  
Miembro

  
Blgo. JOEL VASQUEZ BARDALES, M.Sc.  
Miembro

  
Ing. RODIL TELLO ESPINOZA, Dr.  
Asesor

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ECOLOGIA DE BOSQUES**  
**TROPICALES**

**TESIS**

**"EMISIONES DIURNAS Y NOCTURNAS DE CH<sub>4</sub> Y N<sub>2</sub>O EN LA TURBERA**  
**DE QUISTOCOCHA EN LORETO, PERÚ, 2021"**

Tesis sustentada y aprobada el 07 de setiembre del 2022, según Acta de  
Sustentación No 053-CTG-FCF-UNAP-2022

---

Ing. Jorge Luis Rodríguez Gomez, Dr.  
REG.CIP 46360  
PRESIDENTE

---

Ing. Lizardo Manuel Fachin Malaverri, M.Sc.  
REG.CIP 66065  
MIEMBRO

---

Ing. Joel Vasquez Bardales, M.Sc.  
REG.CBP 5930  
MIEMBRO

---

Ing. Rodil Tello Espinoza, Dr.  
REG.CIP 27840  
ASESOR

# **DEDICATORIA**

*A **Marta**, mi viejita*

*A **Oepiap**, mi compañero de apoyo, estudio y lucha.*

# AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a todas las personas implicadas en la ejecución y edición de la presente tesis:

- Al ex decano de la Facultad de Ciencias Forestales, Dr. Tedi Pacheco Gómez, que me permitió formar parte del proyecto de cooperación científica entre la Universidad de Tartu - Estonia, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP) y el Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP) sobre el tema de: “Medición de flujos de gases de efecto invernadero: CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en los humedales amazónicos”. Así mismo, a todas las personas involucradas en la gestión y posterior materialización de dicho proyecto.
- Al Departamento de Energía de EE.UU., la Oficina de Investigación Biológica y Ambiental, a través de su programa de Ciencia de Ecosistemas Terrestres para el Área de Enfoque de Ciencia-Ciencia de Ecosistemas Terrestres del Laboratorio Nacional Oak Ridge. También al Programa Interinstitucional SilvaCarbon de EE.UU., y el Programa de Adaptación y Mitigación de Humedales Sostenibles (SWAMP). Así mismo, a la Fundación Nacional de Ciencias de EE.UU., y el IIAP, que nos proporcionaron los datos (PAR) de la torre de flujo de covarianza de remolinos (EC), ubicado en Quistococha.
- Al Dr. Jaan Pärn, por el apoyo brindado en el análisis físico-químico de las muestras de gases en la Universidad de Tartu, Estonia - Departamento de Geografía. Así mismo, por la función de coasesoria cumplida en el proceso de desarrollo de la presente tesis.

- Al Dr. Rodil Tello Espinoza, por la asesoría realizado desde el inicio hasta la materialización del presente trabajo de investigación.
- A la asociación CHIRAPAQ, por el apoyo incondicional brindado mediante una beca integral para el desarrollo del presente trabajo de investigación, a través de su programa “Niñez y Juventud Indígena”.
- Al Dr. Rommel R. Rojas Zamora, por su instrucción en el análisis estadístico de los datos y el uso del software R.
- Al Blgo. Tony E. Noriega Piña, por sus consejos y recomendaciones oportunos durante el desarrollo de la presente investigación.
- A mi gran amigo Ronal Huaje Wampuch, por el apoyo realizado durante el trabajo de campo.

## ÍNDICE

	Pág.
PORTADA.....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN .....	ii
JURADO .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE .....	vii
LISTA DE CUADROS .....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Bases teóricas.....	8
1.2.1. Las turberas .....	8
1.2.2. El CH <sub>4</sub> y flujo a nivel del suelo .....	9
1.2.3. Transporte y emisión de metano a la atmósfera .....	10
1.2.4. Producción de metano .....	10
1.2.5. Oxidación del metano.....	11

1.2.6. El N <sub>2</sub> O y flujo a nivel del suelo.....	12
1.2.7. Variables que influyen en el flujo de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O .....	13
1.2.8. Radiación fotosintéticamente activa (PAR).....	14
1.2.9. Temperatura del suelo.....	14
1.2.10. Nivel freático .....	14
1.3. Definición de términos básicos .....	15
<b>CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>18</b>
2.1. Formulación de la hipótesis.....	18
2.2. Variables y su operacionalización.....	18
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>20</b>
3.1. Tipo y diseño .....	20
3.2. Diseño muestral .....	20
3.3. Procedimientos de recolección de datos.....	21
3.4. Procesamiento y análisis de los datos.....	23
3.4.1. Cálculo del flujo de gases .....	23
3.4.2. Análisis estadísticos .....	23
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....</b>	<b>24</b>
<b>CAPITULO V: DISCUSIÓN .....</b>	<b>38</b>
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>CAPITULO VII: RECOMENDACIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>CAPITULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>57</b>



## LISTA DE CUADROS

<b>N° TITULO</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Identificación de la población y muestra de la evaluación .....	21
Tabla 2. Valores estadísticos descriptivos de la primera campaña de muestreo del gas CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O en la turbera de Quistococha.....	25
Tabla 3. Valores de la media, mediana (entre paréntesis) ± error estandar de flujos de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O en el suelo diario (24 h). .....	25
Tabla 4. Valores estadísticos descriptivos de la segunda campaña de muestreo del gas CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O en la turbera de Quistococha .....	28
Tabla 5. Valores de la media, mediana (entre paréntesis) ± error estandar de flujos de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O en el suelo diario (24 horas). .....	28
Tabla 6. Correlaciones de las variables ambientales con los gases de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O ...	35

## LISTA DE FIGURAS

<b>N° TITULO</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1. Variaciones diarios del flujo de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O en la turbera de Quistococha. Las barras representan la media ± error estándar (n=3). .....	26
Figura 2. Variaciones diarios del flujo de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O en la turbera de Quistococha. Las barras representan la media ± error estándar (n=3). .....	28
Figura 3. Comparación entre la producción del gas metano en diferentes tiempos ..	29
Figura 4. Comparación entre la producción del gas metano en diferentes tiempos ..	30
Figura 5. Comparación entre la producción del gas Oxido nitroso en diferentes tiempos.....	31
Figura 6. Comparación entre la producción del gas Oxido nitroso en diferentes tiempos.....	31
Figura 7. Comparación entre el flujo diario del gas metano en diferentes horarios ...	32
Figura 8. Comparación entre el flujo diario del gas metano en diferentes horarios ...	33
Figura 9. Comparación entre el flujo diario del gas óxido nitroso en diferentes horarios. ....	34
Figura 10. Comparación entre el flujo diario del gas óxido nitroso en diferentes horarios. ....	34
Figura 11. Correlación entre las variables ambientales y el flujo de metano de la primera campaña .....	36
Figura 12. Correlación entre las variables ambientales y el flujo de metano de la segunda campaña .....	36

Figura 13. Correlación entre las variables ambientales y el flujo de óxido nitroso de la primera campaña .....	37
Figura 14. Correlación entre las variables ambientales y el flujo de óxido nitroso de la segunda campaña .....	37
Figura 15. Mapa de ubicación de la turbera Quistococha.....	58
Figura 17. Lago del parque zoológico de Quistococha y su vegetación frondosa .....	59
Figura 18. Dosel del bosque de Quistococha y su vegetación predominante de la especie mauritia flexuosa .....	59
Figura 19. Codificación de los frascos para el muestreo de los gases de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O. ....	59
Figura 20. Coordinación para el inicio de muestreo de los gases .....	60
Figura 21. En proceso de muestreo de los gases, con las cámaras cónicas colocados en los collares instalados. ....	60
Figura 22. Muestreo de los gases en un vial de 50 ml.....	60
Figura 23. Organización de los viales durante el proceso de muestreo en horas de la noche .....	61
Figura 24. Muestreo de los gases con su respectivo registro y control del tiempo ....	61
Figura 25. Registro de los datos de las variables ambientales.....	61
Figura 26. Test de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos de CH <sub>4</sub> .....	62
Figura 27. Test de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos de N <sub>2</sub> O .....	62

## RESUMEN

El estudio se realizó en las turberas del parque zoológico de Quistococha, Iquitos. El objetivo fue estimar el ciclo diario de los flujos de gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en relación a las variables ambientales de la turbera de Quistococha en Loreto – Perú; donde, se utilizó la metodología de cámara cerrada (típicamente <1 m<sup>2</sup>), que consiste en medir el flujo de gases trazas de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (Hutchinson y Livingston, 1993). Los ciclos diarios del flujo de CH<sub>4</sub> en la turbera de Quistococha, durante la primera y segunda campaña presentó un promedio de 2407,9 y 2154,5 (µg-C/m<sup>2</sup>/h<sup>-1</sup>), respectivamente. Así mismo, durante la primera y segunda campaña el N<sub>2</sub>O presentó un promedio diario de 37,3 y 5,4 (µg-N/m<sup>2</sup>/h<sup>-1</sup>), respectivamente. Se observó que existe ligeras diferencias en los flujos de los gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O entre el día y la noche, siendo mayor durante el día el flujo promedio de CH<sub>4</sub>, primera campaña (2576,33 y 2239,49 µg-C/m<sup>2</sup>/h<sup>-1</sup>, respectivamente) y segunda campaña (2446,36 y 1862,59 µg-C/m<sup>2</sup>/h<sup>-1</sup>, respectivamente) de manera constante, e inconstante en relación al flujo promedio de N<sub>2</sub>O, primera campaña (40,69 y 33,85 µg-N/m<sup>2</sup>/h<sup>-1</sup>, respectivamente) y segunda campaña (4,87 y 5,36 µg-N/m<sup>2</sup>/h<sup>-1</sup>, respectivamente), pero no se encontraron diferencias significativas con respecto a los diferentes turnos (día y noche), ni entre los diferentes horarios del día, según test de Wilcoxon y kruskal wallis, respectivamente. Las variables ambientales de temperatura de suelo, radiación fotosintéticamente activa y el nivel freático, no influyen de manera significativa en el flujo diario de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en la turbera de Quistococha, según el test de spearman, ya que presentaron correlaciones bajas.

**Palabra clave:** Turberas, flujo de CH<sub>4</sub>, flujo de N<sub>2</sub>O, temperatura, PAR, nivel freático.

## ABSTRACT

The study was conducted in the peatlands of the Quistococha – Iquitos Zoo. The objective was to estimate the daily cycle of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O gas flows in relation to the environmental variables of the Quistococha peatland in Loreto – Peru; where, the closed chamber methodology (typically <1m<sup>2</sup>) was used, which consists of measuring the flow of trace gases of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O (Hutchinson and Livingston, 1993). The daily cycles of the CH<sub>4</sub> flow in the Peatland of Quistococha, during the first and second campaign presented an average of 2407,9 and 2154,5 (µg-C/m<sup>-2</sup>/h<sup>-1</sup>), respectively. Likewise, N<sub>2</sub>O presented a daily average of 37,3 and 5,4 (µg-N/m<sup>-2</sup>/h<sup>-1</sup>), respectively. It was observed that there are slight differences in the flows of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O gases between day and night, being greater during the day the average flow of CH<sub>4</sub>, first campaign (2576,33 and 2239,49 µg-C/m<sup>-2</sup>/h<sup>-1</sup>, respectively) and second campaign (2446,36 and 1862,59 µg-C/m<sup>-2</sup>/h<sup>-1</sup>, respectively) constantly, and inconsistently in relation to the average flow of N<sub>2</sub>O, first campaign (40,69 and 33,85 µg-N/m<sup>-2</sup>/h<sup>-1</sup>, respectively) and second campaign (4,87 and 5,36 µg-N/m<sup>-2</sup>/h<sup>-1</sup>, respectively), but no significant differences were found with respect to the different shifts (day and night), nor between the different times of the day, according to Wilcoxon and kruskal wallis tests, respectively. The environmental variables of soil temperature, photosynthetically active radiation and water table do not significantly influence the daily flow of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O in the Quistococha peatland, according to the spearman test, since they presented low and null correlations.

Keyword: Peatlands, CH<sub>4</sub> flow, N<sub>2</sub>O flow, temperature, PAR, water level.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de turberas se definen por la capacidad única de almacenamiento y acumulación de materia orgánica muerta de diversas especies, como turba, en condiciones de saturación de agua casi permanente, ya sea por aguas superficiales o subterráneas bajo condiciones normales (Joosten y Clarke, 2002). Estos ecosistemas conforman más del 50% de los humedales del mundo, que vienen a representar el 3% de la superficie del planeta (Iturraspe, 2010). A pesar del pequeño tamaño que representa a nivel de superficie terrestre, estos tipos de ecosistemas juegan un rol importante en el balance local, regional y global de los gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (Joosten y Couwenberg, 2008).

Ante ello, la Amazonía cumple un rol decisivo en los presupuestos atmosféricos mundiales de CO<sub>2</sub> y otros GEI, debido a que presenta un tipo de ecosistema con grandes complejos de turberas que almacenan carbono en el suelo en descomposición (Teh et al., 2017). Si bien tenemos una comprensión moderadamente buena del flujo de estos gases a escala continental, aún existe un escaso conocimiento sobre la contribución específica de las turberas amazónicas a los presupuestos regionales (Finn et al., 2020; Lähteenoja y Page, 2011; Griffis et al., 2020; Lahteenoja et al., 2009), incluyendo las turberas amazónicas peruanas que cuenta con grandes extensiones con un papel importante en el almacenamiento global de CO<sub>2</sub> y nitrógeno. A demás, otro de los aspectos a tomar en cuenta es, como los flujos de GEI se componen principalmente de CO<sub>2</sub> en estos ecosistemas, ha hecho que se realice en gran parte investigaciones exclusivamente en la evaluación de los flujos de CO<sub>2</sub> del suelo. Sin

embargo, las turberas también se componen de otros gases de efecto invernadero de mayor impacto, dentro de ello tenemos los gases de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ . En consecuencia, llegando a olvidarse del gas más letal el  $\text{N}_2\text{O}$  en muchos estudios, sobre todo en países tropicales, como Perú (CIFOR, 2017). Actualmente, estos ecosistemas se encuentran gravemente amenazados por la expansión de la agricultura comercial y otras actividades económicas (Roucoux et al., 2017). En Loreto, por ejemplo, la turbera de Quistococha, seleccionada para el estudio enfrenta serias amenazas debido a la cercanía a la principal ciudad de Iquitos que los hace susceptibles de ser afectadas por diversos intereses económicos o el desarrollo de algún proyecto de infraestructura en su entorno. Por consiguiente, es de mucho valor sumar mediante una investigación que aporte con más información en el trabajo de entender mejor estos ecosistemas e ir cubriendo la necesidad de contar con políticas y estrategias basadas en evidencia, y así proteger de las amenazas originadas por intereses múltiples, y que el resultado final del tema de la protección de nuestras turberas amazónicas no se vuelva social y políticamente inviable.

De acuerdo a este contexto, la presente investigación tiene como objetivo general la estimación del ciclo diario de los flujos de gases de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  en relación a las variables ambientales de la turbera de Quistococha en Loreto, Perú, 2021. Con el propósito de comprender los flujos diurnos y nocturnos de los principales gases de efecto invernadero, abarcando en las observaciones las influencias que podrían estar generando las diferentes variables ambientales en la conducción de los gases. Que implicaría realizar descripciones, cuantificaciones, contrastaciones y correlaciones de los flujos de los gases de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  a nivel del suelo en un tipo de turbera tropical.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes

Soosaar et al., (2022), desarrollaron una investigación de tipo cuantitativo y diseño descriptiva correlacional que incluyó como población de estudio los flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de las turberas de Quistococha. La investigación determinó que la media ( $\pm$ SE) de los flujos de CH<sub>4</sub> fue de  $3618 \pm 465 \mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , siendo siempre un emisor neto. La media de los flujos de N<sub>2</sub>O del suelo cerca de las palmeras fue de  $143 \pm 68,4 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , excediendo a los flujos cerca del árbol de *Symphonia globulifera* ( $53,8 \pm 24,04 \mu\text{gN m}^{-2}/\text{h}^{-1}$ ). En este estudio concluyeron que las emisiones más altas de CH<sub>4</sub> se midieron a finales de enero y en febrero de 2020, es decir, los flujos de CH<sub>4</sub> fueron más altos durante la temporada de creciente, mientras que el N<sub>2</sub>O del suelo mostró valores más altos durante la temporada de vaciante.

Tong et al., (2013), desarrollaron una investigación de tipo cuantitativo y diseño descriptiva correlacional que incluyó como población de estudio los flujos de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. La investigación determinó que las emisiones de CH<sub>4</sub> aumentaron gradualmente después del amanecer en su mayoría y alcanzaron sus valores máximos cerca del mediodía, además durante el período de suelo expuesto, las variaciones del flujo de CH<sub>4</sub> fueron influenciadas por la temperatura del suelo, tanto durante el día como durante la noche. Así mismo, en comparación con horas de la noche, la emisión de CH<sub>4</sub> durante el día fue consistentemente mayor. Entre los tres GEI, el CH<sub>4</sub> pareció estar más marcado por la temperatura del suelo y mostró una correlación significativa entre las variaciones diurnas del flujo y la temperatura del suelo. En relación al flujo de N<sub>2</sub>O, en la etapa de inundación durante el día fue mayor



que en la noche, así mismo presentaron valores positivos y negativos en momentos diferentes en escala diurna. En este estudio concluyeron que los flujos de CH<sub>4</sub> en la escala diurna fueron positivos en todo momento, y durante el período diurno, la temperatura del suelo controló marcadamente las variaciones de las emisiones de CH<sub>4</sub> en comparación con otros factores del suelo, además el flujo diario parece estar directamente controlado por las plantas y respecto al N<sub>2</sub>O no parece estarlo, y además el N<sub>2</sub>O presentaron mayores fluctuaciones diarias.

Xu et al., (2017), desarrollaron una investigación de tipo cuantitativo y diseño descriptiva correlacional que incluyó como población de estudio los flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en humedales costeros de china. La investigación determinó que los flujos promedio de CH<sub>4</sub> en la escala diurna fueron positivos durante la temporada de creciente, mientras que de lo contrario fueron negativos. Además, se observó mayores variaciones diurnas en los flujos de N<sub>2</sub>O durante la temporada de crecimiento (25,6 μg de N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) en comparación con los medidos en la temporada de no crecimiento (16,5 μg de N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). En este estudio concluyeron que los flujos medios de CH<sub>4</sub> fueron más altos por la noche que durante el día. Así mismo, la mayor variación diurna en los flujos de N<sub>2</sub>O tuvo lugar a las 15:00 (86,4 μg N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Además, las variaciones diarias no se correlacionaron con las temperaturas del suelo, mientras que la variación estacional y diurna de los flujos de N<sub>2</sub>O en junio mostró una correlación significativa con la temperatura del suelo.

Tauchnitz et al. (2008), desarrollaron una investigación de tipo cuantitativo y diseño descriptiva correlacional que incluyó como población de estudio los flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en relación de los parámetros ambientales en turberas. La investigación

determinó que la disponibilidad de oxígeno ( $O_2$ ) en estos ambientes es baja pero las cantidades de  $CH_4$  y  $N_2O$  fueron considerables y que las emisiones a niveles bajos del nivel freático fueron menores, en comparación a los periodos de inundación  $0,025 \text{ kgCH}_4\text{ha}^{-1}$  y  $0,044 \text{ kgCH}_4\text{ha}^{-1}$ , respectivamente. Además, presentó altos niveles de absorción durante un nivel freático bajo de  $-27 \text{ cm}$  y se supuso que era el resultado de la oxidación de  $CH_4$  por bacterias metanótrofas. En este estudio concluyeron que la entrada de agua intersticial que contiene oxígeno en el lodo de la pendiente limitó los procesos de reducción y la emisión de  $CH_4$ , y en relación a las emisiones del  $N_2O$  no hubo diferencias con las turberas reportadas con niveles freáticos altos y baja disponibilidad de oxígeno.

Teh et al., (2017), desarrollaron una investigación de tipo cuantitativo y diseño descriptiva correlacional que incluyó como población de estudio los flujos de  $CH_4$  y  $N_2O$  en relación a las variables ambientales en las turberas de la amazonia. La investigación determinó que la vegetación boscosa y el pantano mixto de palmeras mostraron emisiones significativamente más altas en la estación seca ( $47,2 \pm 5,4 \text{ mg CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  y  $85,5 \pm 26,4 \text{ mg CH}_4\text{-C m}^{-2}\text{día}^{-1}$ , respectivamente) en comparación con las emisiones en la estación húmeda ( $6,8 \pm 1,0 \text{ mg CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  y  $5,2 \pm 2,7 \text{ mg CH}_4\text{-C m}^{-2}\text{día}^{-1}$ , respectivamente). En relación al flujo difusivo de  $N_2O$  fue muy bajo ( $0,70 \pm 0,34 \text{ } \mu\text{gN}_2\text{O-Nm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) y no varió significativamente entre ecosistemas o entre estaciones (p. 3679). Así mismo, los estudios diarios sugieren que los flujos de difusión ni de  $CH_4$  ni de  $N_2O$  variaron en el transcurso de un período de 24 horas (p. 3676). Además, cuando el nivel freático se encuentra entre 30 y 40 cm por encima de la superficie las emisiones de  $CH_4$  disminuyen precipitadamente (p. 3678). El trabajo

concluyó que las turberas en el PMFB son fuentes grandes y de importancia regional de CH<sub>4</sub> atmosférico que deben tenerse en cuenta mejor en los inventarios de emisiones regionales. En contraste, el flujo de N<sub>2</sub>O fue insignificante, lo que sugiere que esta región no hace una contribución significativa a los presupuestos atmosféricos regionales de N<sub>2</sub>O (p. 3669).

Hergoualc'h et al., (2020, p. 7198), desarrollaron una investigación de tipo cuantitativo y diseño descriptiva y correlacional que incluyó como población de estudio flujos de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> en las turberas de la amazonia peruana. La investigación determinó que el CH<sub>4</sub> presento una tendencia hacia emisiones altas en los meses con menos precipitaciones cuando el nivel freático estaba debajo de la superficie del suelo. Así mismo, en todos los sitios, las emisiones mensuales de CH<sub>4</sub> del suelo aumentaron exponencialmente a medida que aumentaba el nivel freático, caso contrario fue con las emisiones de N<sub>2</sub>O que disminuyeron a medida que aumentaba el nivel freático. Como también, en todos los sitios respondieron exponencialmente a la precipitación anual. Las emisiones de N<sub>2</sub>O poco frecuentes, irregulares pero muy grandes (con un máximo de 333 g N ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) y la presencia de un punto crítico en los sitios no pueden asociarse claramente con las variables ambientales (p. 7211). Además, la absorción del suelo de N<sub>2</sub>O atmosférico fue frecuente en todos los sitios. El trabajo concluyó que los principales impulsores ambientales de las emisiones de gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O estaban relacionados con la humedad, es decir, el nivel freático.

Griffis et al., (2020), desarrollaron una investigación de tipo cuantitativo y diseño descriptiva correlacional que incluyó como población de estudio de flujos de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> mediante una torre de flujo de covarianza de remolino (EC) a escala de

ecosistema en la turbera de Quistococha, Loreto. La investigación determinó que las relaciones del CH<sub>4</sub> entre la temperatura del suelo, la temperatura del aire y la posición del nivel freático fueron positivas débiles, y no fueron estadísticamente significativas. Así mismo, los análisis indicaron que una radiación PAR más altos y una posición más baja del nivel freático durante las estaciones secas limitaban la fotosíntesis. El estudio concluyó que la presente turbera era una fuente de CH<sub>4</sub> (20 a 24) g C m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> constante.

Así mismo, Finn et al., (2020, p. 1), desarrollaron una investigación de tipo cuantitativo y diseño descriptiva correlacional que incluyó como población las comunidades procariotas y los flujos de GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) en las turberas tropicales en la cuenca Pastaza-Marañón, Perú. La investigación determinó que las tasas de flujo de CH<sub>4</sub> fluctúan de 0,3 a 2,5 mg CH<sub>4</sub>-C m<sup>-2</sup>/h<sup>-1</sup>, y así mismo, las comunidades metanógenas, dominadas por Methanobacteriaceae hidrogenotróficas, se agregan fuertemente con sistemas minerotróficos que muestran un mayor flujo de CH<sub>4</sub>, y en relación al flujo de N<sub>2</sub>O los niveles registrados fluctúan entre (~0.5–100 µg N m<sup>-2</sup>/h<sup>-1</sup>), difiriendo entre todas las turberas, pero estas diferencias eran independientes del gradiente de nutrientes. El trabajo concluyó que las turberas amazónicas estudiadas, el aumento del contenido de nutrientes minerales proporciona hábitats favorables para las Methanobacteriaceae, mientras que las poblaciones de Methylocystaceae parecen distribuirse ampliamente independientemente del contenido de nutrientes. Así mismo, existe evidencia de una mayor respiración de la turbera en condiciones más secas y posiciones bajas del nivel freático, como también, los flujos de CH<sub>4</sub> aumentaron en estación húmeda, sin embargo, no se observó un patrón significativo diario, ni una correlación con la temperatura.

Pärn, et, al. (2021), desarrollaron una investigación de tipo cuantitativo y diseño descriptiva correlacional, que incluyó como población de estudio flujos de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de las turberas en Loreto. La investigación determinó que los bosques pantanosos sometidos a una ligera reducción del nivel freático emitieron grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O, al tiempo que retuvieron sus elevadas emisiones de CH<sub>4</sub>, más notablemente, una fuerte lluvia después de la caída del nivel freático en el prístino bosque pantanoso desencadenó mayor emisión de N<sub>2</sub>O. La desnitrificación del nitrificador fue el mecanismo fuente probable, ya que descartamos la nitrificación y la desnitrificación heterotrófica. El trabajo concluyó que una sequía moderada en los pantanos de palmeras peruanas puede generar una retroalimentación devastadora sobre el cambio climático a través de las emisiones de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O.

## **1.2. Bases teóricas**

### 1.2.1 Las turberas

Las turberas son áreas, con un sustrato orgánico predominante inundado de al menos 30-40 cm de espesor y están clasificados en función de varios criterios, por ejemplo, las características de la vegetación, geomorfología, hidrología, química, estratigrafía y turba. Las turberas de la región Loreto no están distribuidas al azar en el paisaje, sino que en su lugar parecen estar en gran medida confinados a las zonas bajas (Guardia, 2019). La existencia de las turberas en las tierras bajas de la Amazonía ha sido recientemente confirmada, y son importantes para el ciclo del CO<sub>2</sub> regional y la diversidad de hábitats y representan valiosos recursos para la investigación (Guardia, 2019 ; Lahteenoja et al. 2009b).

El componente químico principal de la materia orgánica en descomposición en estos ecosistemas es el CO<sub>2</sub>, en ese sentido, son almacenadores globales de CO<sub>2</sub> y nitrógeno. Dada estas características los ecosistemas de turberas son fuentes naturales de gases de efecto invernadero como el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Además, las cantidades de carbono que puede contener un bosque de este tipo de ecosistema varía según sus características y donde se ubica (Pinasco et al. 2011).

#### 1.2.2. El CH<sub>4</sub> y flujo a nivel del suelo

El metano (CH<sub>4</sub>) es el hidrocarburo alcano más sencillo, que se origina como resultado final de la putrefacción anaeróbica de los residuos orgánicos. Comúnmente, constituye el 80% del gas natural. Así mismo, es el segundo compuesto que más contribuye al efecto invernadero caracterizado por poseer el potencial de calentamiento 23 veces mayor al del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en una franja de 100 años, por lo que aun siendo la concentración más baja que el CO<sub>2</sub>, su aporte al calentamiento global es significativo (IPCC, 2007; Tauchnitz et al., 2007).

Las fuentes de CH<sub>4</sub> atmosférico son principalmente de origen biológico (70-80%) y los humedales son apreciados como importantes fuentes emisoras de este gas, apoyando con el 40-55% de las emisiones anuales globales (Christensen et al., 2003; Bodelier y Laanbroek, 2004). Los suelos de las turberas por estar saturado de agua poseen condiciones anaeróbicas que contribuyen en la producción del CH<sub>4</sub> (Hernández, 2018) por microorganismos metanogénicos y metanotróficos (Finn et al., 2020). Los flujos de CH<sub>4</sub> permanentemente mayores suceden en los tipos de suelo ricos en nutrientes, vegetación de alta productividad que perciben inundaciones por épocas y altas

temperaturas (Christensen et al., 2003; Bodelier y Laanbroek, 2004; Lahteenoja *et al.*, 2009; Teh et al., 2017).

#### 1.2.3. Transporte y emisión de metano a la atmósfera

El CH<sub>4</sub> del suelo, ya sea de un ecosistema de turbera se libera a la atmósfera a través de tres vías principales: ebullición, transporte mediado por plantas y difusión (Ma et al., 2021). La ebullición es la menos susceptible a la oxidación, ya que permite que el CH<sub>4</sub> asciendan rápidamente en una burbuja que pasa por alto las zonas aeróbica y anaeróbica (Epstein y Plesset, 1950), y por el transporte mediado por plantas, es a través de espacios intercelulares (difusión molecular) o tejidos aerénquimas. Así mismo, el CH<sub>4</sub> transportado puede oxidarse en la rizosfera o dentro del tejidos aerénquimas, donde hay presencia de oxígeno gaseoso (Lena Ström, 2005; Laanbroek, 2010). El transporte por difusión a través de la columna de turba es el procedimiento de transporte más lento y, por lo tanto, el CH<sub>4</sub> es más propenso a la oxidación ya que pasa más tiempo recorriendo las zonas aeróbica y anaeróbica (Mogoniga et al., 2003).

#### 1.2.4. Producción de metano

El flujo o emisión del gas de CH<sub>4</sub> a la atmósfera en los humedales depende de tres aspectos; de su producción (metanogénesis), consumo u oxidación y de su transporte del suelo a la atmósfera (Christensen et al., 2003; Tauchnitz et al., 2008). Existen distintos géneros de bacterias, que, dependiendo del sustrato que utilizan, se pueden dividir en diferentes grupos fisiológicos, y en estos procesos la producción de CH<sub>4</sub> ocurren bajo condiciones considerablemente reducidas a -224 mV (Torres-Alvarado et al., 2005). Las divisiones por grupos fisiológicos se dan de la siguiente manera:

**Grupo I.** Los microorganismos que pertenecen a este grupo son de genero Methanosaeta y se caracterizan por producir CH<sub>4</sub> utilizando únicamente acetato como sustrato.

**Grupo II.** En este grupo están los microorganismos de genero Methanobacterium, Methanobrevibacter y Methanogenium, los cuales se definen por producir CH<sub>4</sub> a partir de hidrógeno y CO<sub>2</sub>.

**Grupo III.** Este agrupa a los géneros bacterianos como Methanolobus y Methanococcus, que producen CH<sub>4</sub> a partir de compuestos metilados como el metanol y las metilaminas.

**Grupo IV.** Por último, en este grupo se encuentran las bacterias de género Methanosarcina, las cuales producen CH<sub>4</sub> a partir de acetato, hidrógeno y compuestos metilados.

Así mismo, el factor de mayor influencia en la producción de CH<sub>4</sub> es la hidrología en los humedales, ya que para generar condiciones reducida, es necesario que los suelos permanezcan anegados por períodos largos (Inubushi et al., 2005).

#### 1.2.5. Oxidación del metano

La oxidación de CH<sub>4</sub>, en ausencia de oxígeno se denomina oxidación anaerobia, y en presencia moderada de oxígeno se denomina oxidación aerobia. La oxidación en ausencia de oxígeno, ocurre especialmente en los humedales con agua salina por diversos grupos de archaea, ya sea en zonas de transición de reducción de sulfato y metanogénesis (Torres-Alvarado et al., 2005). La oxidación en presencia de oxígeno se produce por microorganismos de grupos de géneros Methylococcus, Methylomonas



y por las bacterias nitrificantes, como *Nitrosomonas europaea* y *Nitrosococcus oceanus* (Jones & Morita, 1983), y estas son llamadas bacterias metanotróficas. La reacción que cataliza la oxidación aerobia de  $\text{CH}_4$  es la enzima  $\text{CH}_4$  monooxigenasa (MMO). Y, las bacterias nitrificantes sintetizan la enzima amonio monooxigenasa (AMO) que también oxida al  $\text{CH}_4$ , sin embargo, existe mayor afinidad del  $\text{CH}_4$  hacia la enzima MMO (Jones & Morita, 1983).

#### 1.2.6. El $\text{N}_2\text{O}$ y flujo a nivel del suelo

Es un gas traza de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global, como también a la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera (Tallec et al. 2008). Este gas perdura aproximadamente 120 años, tiene un potencial de calentamiento atmosférico de 296 en relación a las emisiones de  $\text{CO}_2$  en horizonte temporal de 100 años (Wu et al., 2009). La concentración atmosférica de este gas aumenta alrededor del 0,3% por año<sup>-1</sup> (Sovik y Klove, 2007), y es emitido por actividades antropogénicas como el uso de fertilizantes, la quema de combustibles fósiles, los procesos naturales en el suelo, los océanos (García, 2010), y también se producen en sistemas de aguas residuales o en humedales construidos durante el tratamiento biológico del nitrógeno (Paredes et al. 2007), cuando el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es reducido a nitrógeno molecular (Tao y Wang, 2009), proceso conocido como desnitrificación siendo esta la principal fuente de óxido nitroso (Tallec et al. 2006). Este proceso es complejo y fuertemente influenciado por factores ambientales para transformar a través de procesos microbianos los nutrientes del agua residual a compuestos gaseosos que se liberarán a la atmósfera (Paredes et al. 2007).

Existen tres procesos mediante el cual los microorganismos regulan la dinámica del nitrógeno en el suelo; la mineralización, la nitrificación y la desnitrificación. La nitrificación, a través de la oxidación de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), produce nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), una forma móvil de N, que es la principal vía de pérdida de N por lixiviación y desnitrificación. (Subbarao et al., 2006; Illarze et al., 2018). La acción de la oxidación de  $\text{NH}_4^+$  y la desnitrificación en el suelo generan emisiones de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), un poderoso gas de efecto invernadero (GEI). Así mismo, la oxidación de  $\text{NH}_4^+$  es un proceso que ocurre en presencia de  $\text{O}_2$  (aerobio), pero cuando el suministro de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) es limitado se genera  $\text{N}_2\text{O}$  como subproducto dentro de los ciclos del nitrógeno, mientras tanto el proceso de la desnitrificación se activa una vez que el  $\text{O}_2$  ha sido consumido y se han generado microambientes sin oxígeno dentro del perfil del suelo. (Smith et al., 2018). Las bacterias desnitrificantes son microorganismos que reducen a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a compuestos gaseosos como; óxido nítrico (NO), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) (Illarze et al., 2018).

#### 1.2.7. Variables que influyen en el flujo de $\text{CH}_4$ y $\text{N}_2\text{O}$

Las emisiones de  $\text{CH}_4$  a la atmósfera por los humedales varía en un amplio intervalo, ya que, la producción de este gas es influenciado por varios factores (Hernández, 2009), entre ellos tenemos; los factores ambientales, tipo de comunidad microbiológica que predomine en el humedal, así mismo, la productividad primaria la concentración de nutrientes en el agua y sedimento, el pH, la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto, la profundidad, las características del sedimento, entre otros parámetros ambientales (Graham et al., 2005; Hernández, 2009; Rejmánková & Houdková, 2006).

#### 1.2.8. Radiación fotosintéticamente activa (PAR)

La intensidad lumínica tiene efectos significativos sobre el funcionamiento de la comunidad en su conjunto, debido a que induce cambios fuertes en la tasa de fotosíntesis, temperatura del suelo, productividad primaria neta y del aire, disponibilidad de agua y actividad de los microorganismos del suelo (Dai, 1996), que pueden desencadenar reacciones, respuestas en los factores mencionados, pudiendo influir en los flujos de los gases, ya sea por las aperturas del dosel que originan que el piso forestal reciba una mayor cantidad de luz solar en forma directa (Maycottre, et al., 2002). Asimismo, existe relación o dependencias a la luz solar (día y noche) en relación a la respiración del ecosistema y en el comportamiento de sus componentes heterótrofos y autótrofos (Järveoja et al., 2020).

#### 1.2.9. Temperatura del suelo

La temperatura del suelo son algunos de los variables ambientales reguladores de las emisiones de estos gases (Enriquez, et al., 2020). Las mayores emisiones de  $N_2O$  y  $CH_4$  se producen durante una ventana de tiempo que coincide con la época de verano y la temperatura edáfica, esto hace que el metabolismo microbiano se active (Enriquez, et al., 2020). Es decir, la elevación de la temperatura incrementa la emisión de  $CH_4$  (Moore 1989, 1994 citado por Iturraspe R. , 2010. p 7 ). Así mismo, el flujo neto de  $N_2O$  generalmente es mayor durante la noche que durante el día influenciados por variables ambientales de temperatura (Laurson y Seitzinger 2004)

#### 1.2.10. Nivel freático

Es el lugar geométrico de los niveles alcanzados por el agua subterránea en pozos de observación (IDC, 2019). En las turberas, cuando el nivel freático se aproxima a la

superficie se reduce la emisión de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O y se incrementa la de CH<sub>4</sub>. Además, la elevación del nivel freático incrementan la emisión de CH<sub>4</sub> (Moore 1989, 1994; Iturraspe R. , 2010), muy variable en el tiempo y en cada turbera 0 a 74 g/m<sup>2</sup> /año, Craft 2001 citado por Iturraspe R., 2010 p 7). Cada milímetro de lluvia incrementa el nivel freático en 3 a 4,5 mm, dependiendo del coeficiente de almacenamiento  $\mu$  que indica la relación entre la lámina neta de agua (de carga o descarga) y el desnivel observado en la freática (Van der Schaaf 1999 citado por Iturraspe R. , 2010. p 17).

### 1.3. Definición de términos básicos

- **Emisión:** está relacionado con la acción y efecto de emitir. En este caso es verter sustancias a la atmosfera como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, entre otros gases.

<https://definicion.de/emision/>

- **Fuente:** Cualquier proceso o actividad que libere un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero hacia la atmosfera (Dupar, 2019).

- **Fuente de carbono:** Un bosque en específico, es considerada como una fuente de carbono cuando el stock de carbono disminuye con el tiempo (Honorio y Baker, 2010).

- **Gases de efecto invernadero (GEI):** Componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben, emiten radiación y causan el efecto invernadero (Dupar, 2019).

- **Nivel freático:** El nivel freático es el punto máximo de profundidad partiendo de la capa superficial del suelo en el que se encuentra las aguas subterráneas. Su

característica principal se da por el valor de la presión del agua, siendo esta igual a la presión atmosférica (IDC, 2019).

- **Metano:** Es un gas de efecto invernadero, un hidrocarburo y principal componente del gas natural, y posee un potencial para atrapar el calor en la atmósfera, llamado potencial de calentamiento global, 25 veces superior al CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007; IPCC, 2019).

- **Óxido Nitroso:** Es uno de principales gases de efecto invernadero, que es producido naturalmente por diversas fuentes biológicas presentes en el suelo y en el agua, y particularmente por la acción microbiana en los bosques tropicales húmedos (IPCC, 2013).

- **Sumidero:** Cualquier proceso, actividad o mecanismo que elimine de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero (Dupar, 2019).

- **La radiación fotosintéticamente activa (PAR):** La radiación fotosintéticamente activa, son longitudes de ondas visibles, que se encuentran entre 400 y 700µm, la cual, es capturada y almacenada por las plantas, a través de sus sistemas fotosintéticos (Tsubo & Walker, 2005).

- **Temperatura del suelo:** La temperatura del suelo es función del flujo de calor en el suelo, así como de los intercambios de calor entre el suelo y la atmósfera. (g et al. 2004)

- **Turbera:** Son un tipo de ecosistemas que están caracterizadas por depósitos esponjosos de turba, y originados por acumulación de materia orgánica de origen vegetal en distintos estados de descomposición (Iturraspe y Roig, 2000)

- **Turbera minerotrófica:** Se considera a los ecosistemas con depresiones y llanuras con inundación que reciben nutrientes minerales, con entrantes de aguas superficiales o subterráneas que están en contacto con el suelo mineral (Lahteenoja et al. 2009b).

## **CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **2.1. Formulación de la hipótesis**

Hipótesis principal

Existen ciclos diferentes en los flujos diarios de los gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O entre el día y la noche, los cuales están siendo influenciados por variables ambientales en la turbera de Quistococha.

Hipótesis alterna

- Existe diferencia significativa en el ciclo diario de los flujos de gases de metano y óxido nitroso entre el día y la noche en la turbera de Quistococha.
- El ciclo diario de los flujos de gases de metano y óxido nitroso están siendo influenciado por las variables ambientales de temperatura del suelo, radiación PAR y nivel freático.

Hipótesis nula

- No existe diferencia significativa en el ciclo diario de los flujos de gases de metano y óxido nitroso durante el día y la noche, ni están siendo influenciados por los variables ambientales de temperatura del suelo, radiación PAR y nivel freático en la turbera de Quistococha.

### **2.2. Variables y su operacionalización**

En el presente estudio se consideraron las siguientes variables:

- Variable independiente

Horario diurno, horario nocturno, La radiación fotosintéticamente activa (PAR),  
 Temperatura del suelo y nivel freático.

- Variables dependientes

Flujo de los gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

En el cuadro 1 se presenta la operacionalización de variables que se tendrá en cuenta en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

**Cuadro 1. Operacionalización de las variables**

<b>Variab</b>					
<b>Independient</b>	<b>Definición</b>	<b>Tipo por naturaleza</b>	<b>Indicador</b>	<b>Escala de medición</b>	<b>Medios de verificación</b>
Diurno y nocturno	Horario del día y noche (24 horas)	Cualitativo	Día (12 horas) Noche (12 horas)	Nominal	Lecturas del analizador, revisiones bibliográficas y formato de campo
PAR Temperatura del suelo, Nivel freático	Parámetros ambientales	Cuantitativo	umol/m <sup>2</sup> /s °C mm	Intervalo	Revisiones bibliográficas y formato de campo.
<b>Dependientes</b>					
Flujo de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O	Gases de efecto invernadero	Cuantitativo	Lecturas del analizador CH <sub>4</sub> µg C/ m <sup>2</sup> /h <sup>-1</sup> y N <sub>2</sub> O µg N/ m <sup>2</sup> /h <sup>-1</sup>	Intervalo	Lecturas del analizador y revisiones bibliográficas



## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo y diseño**

La investigación es de tipo cuantitativo y cualitativo, y diseño descriptivo e inferencial de nivel de investigación básica. El presente estudio se realizó empleando el método de cámara cerrada (típicamente  $<1\text{m}^2$ ), que consiste en medir el flujo de gases trazas como  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  (Hutchinson y Livingston, 1993) dentro de la turbera natural del parque zoológico de Quistococha.

### **3.2. Diseño muestral**

La población estuvo conformada por la cantidad total de flujos de los gases de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ , y estuvo conformada por 2 puntos diferentes de muestreo, teniendo 3 cámaras por cada punto de muestreo, como también, las variables ambientales; la temperatura del suelo, nivel freático y radiación PAR presentes durante 24 horas en una única turbera primaria de Quistococha.

Las muestras estuvieron constituidas por las veces que se midieron en cada punto de muestreo a nivel de suelo los flujos de los gases de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ , sabiendo que las mediciones eran mensuales y que constaban de 3 cámaras por 4 muestras y por 8 rondas, hasta completar 24 horas. Teniendo mensualmente 96 muestras por cada punto de muestreo, Los meses de evaluación fueron 2 meses de febrero a marzo del 2020; por lo tanto, el total de muestras fueron 192. Así mismo, con las variables ambientales; la temperatura del suelo, nivel freático y radiación PAR.

*Tabla 1. Identificación de la población y muestra de la evaluación*

POBLACION	MUESTRAS/Repeticiones (3)		Total, de muestras
	Febrero (campana 1)	Marzo (campana 2)	
QUISTO_PUNTO 1	96		96
QUISTO_PUNTO 2		96	96
SUB TOTAL	96	96	192

El muestreo se realizó mediante el método probabilístico aleatorio simple. Se ejecutaron dos campañas de muestreo, las cuales se distribuyeron entre dos meses. Los puntos de muestreo se establecieron a una distancia aproximada de 100m entre ambos puntos. Así mismo, por cada campaña se instalaron tres collares equidistantes de ~3m formando un triángulo, donde cada collar fue instalado en una intersección del vértice del triángulo. Y, por último, en el centro del triángulo se abrió un espacio donde se instaló un pozo de observación del nivel freático.

### **3.3. Procedimientos de recolección de datos**

Los flujos de los gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O del suelo se midieron utilizando el método de cámara estático cerrada, con collares de PVC de 0,5 m de diámetro y 0,1 m de profundidad, que fueron colocados en la turba. Las cámaras cónicas truncadas de PVC 65L de PVC blanco se colocaron en anillos llenos de agua en la parte superior de los collares antes del muestreo. (Soosaar et al., 2011), En las campañas establecidas instalamos los collares antes de las 24 horas del muestreo para estabilizar y no perturbar el área de estudio. Las muestras se colectaron en un tiempo aproximado de uno a dos minutos espaciados entre cada muestreo, desde el espacio de la cabeza de la cámara en un vial de vidrio de 50 ml cada 20 minutos durante una sesión de una hora. Cada campaña contó un total de 8 rondas, en total se colectaron 12 muestras por ronda, y se obtuvo 96 muestras totales por campaña. Así mismo, se

estableció un sistema de codificaciones para ordenar e identificar las muestras. En un casillero se organizó en el orden de un plano cartesiano, ubicándolos en el eje “X” positivo (+) se enumera del 1 al 12, y el eje “Y” negativo (-) en letras en el orden de “A” a la “H” (**Anexo 2.5**). Las muestras de gas se enviaron al laboratorio del Departamento de Geografía de la Universidad de Tartu, para ser analizados las concentraciones en un tiempo de dos semanas utilizando cromatografía de gases Shimadzu GC-2014 (Shimadzu, Kioto, Japón) equipada con un detector de captura de electrones para, N<sub>2</sub>O y un detector de ionización de llama para CH<sub>4</sub> (Soosaar et al., 2011).

Además, el sitio de muestreo se equipó con un pozo de observación de 1m de profundidad (una tubería PP-HT perforada de 50 mm envuelta en textiles de filtro), desde donde se registró la profundidad del nivel freático durante el muestreo de gas, y la temperatura del suelo se midió a 10cm de profundidad cerca de cada cámara con un registrador de datos de temperatura (Vernier - LabQuest). La radiación fotosintéticamente activa (PAR) se registró mediante un sensor (Li-190) instalado en la torre de flujo de covarianza de remolinos (EC) del instituto de investigación de la amazonia peruana (IIAP).

Una vez obtenido estos datos se complementó con información recolectada de tesis, artículos científicos y página web científica, Google Scholar, entre otros. Los cuales ayudaron a la búsqueda de investigaciones análogos que permitan la discusión del presente estudio.

### **3.4. Procesamiento y análisis de los datos**

#### **3.4.1. Cálculo del flujo de gases**

El cambio de concentración de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en la cámara se calculó a partir de la pendiente de la regresión lineal de los mínimos cuadrados de las concentraciones de gas de las muestras con el tiempo. El coeficiente ajustado del valor de determinación (R<sup>2</sup>) del ajuste lineal se utilizó para afirmar la bondad de cada sesión de cámara. Cuando el valor R<sup>2</sup> para el flujo de CO<sub>2</sub> estaba por encima de 0,95, se aceptaron los flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O independientemente de su valor R<sup>2</sup>. Se descartó una sesión de cámara cuando el valor R<sup>2</sup> no cumplía con el criterio.

#### **3.4.2. Análisis estadísticos**

Los datos colectados fueron sometidos a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para verificar el cumplimiento de premisas estadísticas para pruebas paramétricas. Los datos mostraron distribución no normal. Para la comparación de cantidad de gases en diferentes tiempos fue realizado un análisis de Wilcoxon entre día y noche y, la cantidad de gases CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. Y, para la variación de la producción del CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en relación a los horarios fue aplicado un análisis del test de kruskal wallis.

Para conocer la variación de los gases CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en relación a variables ambientales de temperatura del suelo (10 cm), radiación PAR y nivel freático fueron realizados los análisis de correlación de Spearman entre la cada variable. Además, se utilizó como variables dependientes la cantidad de gases (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) e independientes las variables ambientales. En todos los análisis estadísticos se utilizó el valor de 0.05 para determinar significancia. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el software R (R development team) y SigmaPlot 14.0.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Análisis de los ciclos diarios de flujos de gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O

#### Flujo diurno y nocturno de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en la primera campaña de muestreo

**Tabla 1.** Durante el día en la primera campaña, el CH<sub>4</sub> presentó un flujo promedio de  $2576,33 \pm 834,37 \mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , (1336,75-3721,02, n=12). Presentó un intervalo de confianza de 530,13, un rango de 2384,27, y coeficiente de variación de 0,32. Durante la noche obtuvo una producción promedio de  $2239,49 \pm 800,15 \mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , (1313,14 – 3278,62, n=12). Presento un intervalo de confianza de 537,27, un rango de 1965,48, y coeficiente de variación de 0,36. (Tabla 1). En la **Figura 1**, el flujo máximo de CH<sub>4</sub> de la turbera a la atmosfera fue de  $3721,02 \mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  a las 14:30 horas, así mismo, en la presente campaña el flujo diario de CH<sub>4</sub> no presentó absorción. Entre los horarios establecidos (24 h), se observó emisiones ascendentes del gas CH<sub>4</sub> en los horarios de de la mañana (8:30 h), alcanzando su máximo pico en horas de alrededor del medio día (11:30 - 14:30 h) y un ligero descenso del flujo en horas cerca de la noche (17:30 h). En las horas de la noche se observó emisiones ascendentes, iniciando desde las 20:30 h, hasta las 23:30 h y un descenso a las 02:30 h, y un ascenso nuevamente en horas de las 05:30 h (Figura 1). Habiendo una diferencia mínima en el flujo promedio del CH<sub>4</sub> entre el día y la noche, siendo mayor en el dia.

Así mismo, en la **Tabla 1**, en relación a N<sub>2</sub>O, durante el día se obtuvo un promedio de  $40,69 \pm 30,64 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (0,71 – 85,09, n=12). Presentó un intervalo de confianza de 19,47, un rango de 84,38, y coeficiente de variación de 0,75. Durante la noche su producción tuvo un promedio de  $33,85 \pm 24,77 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (1,39 – 72,61, n=12). Presentó un intervalo de confianza de 15,74, un rango de 71,22, y coeficiente

de variación de 0,73 (Tabla 3). En la **Figura 1**, el flujo máximo de N<sub>2</sub>O de la turbera a la atmosfera fue de 85,09 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, a las 11:30 h, así mismo, en la presente campaña el flujo diario de N<sub>2</sub>O no presentó absorción. Entre los horarios establecidos, en las horas del día se observó una mayor emisión del N<sub>2</sub>O entre las 11:30 a 14:30 horas y 17:30 horas. Durante las horas de la noche se observó mayor emisión en los horarios de 23:30 a 02:30 h y un incremento a las 05:30 h (Figura 3). Habiendo una diferencia mínima en el flujo promedio del CH<sub>4</sub> entre el día y la noche, siendo mayor en el día.

*Tabla 2. Valores estadísticos descriptivos de la primera campaña de muestreo del gas CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en la turbera de Quistococha.*

	Tiempo	n	Min	Max	median	Mean	sd	ci	Range	Cv
CH <sub>4</sub>	Día	12	1336,75	372,02	2919,34	2576,33	834,37	530,13	2384,27	0,32
	Noche	12	1313,14	3278,62	2042,27	2239,49	800,15	537,27	1965,48	0,36
N <sub>2</sub> O	Día	12	0,71	85,09	47,99	40,69	30,64	19,47	84,38	0,75
	Noche	12	1,39	72,61	35,85	33,85	24,77	15,74	71,22	0,73

*Tabla 3. Valores de la media, mediana (entre paréntesis) ± error estandar de flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en el suelo diario (24 h).*

	CH <sub>4</sub> flux (µg C m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	N <sub>2</sub> O flux (µg N m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )
Gases de suelo (n = 24)	2407,9 (2673,3) ± 166,9	37,3 (41,4) ± 5,6
Los flujos de suelo se expresan por área de suelo		

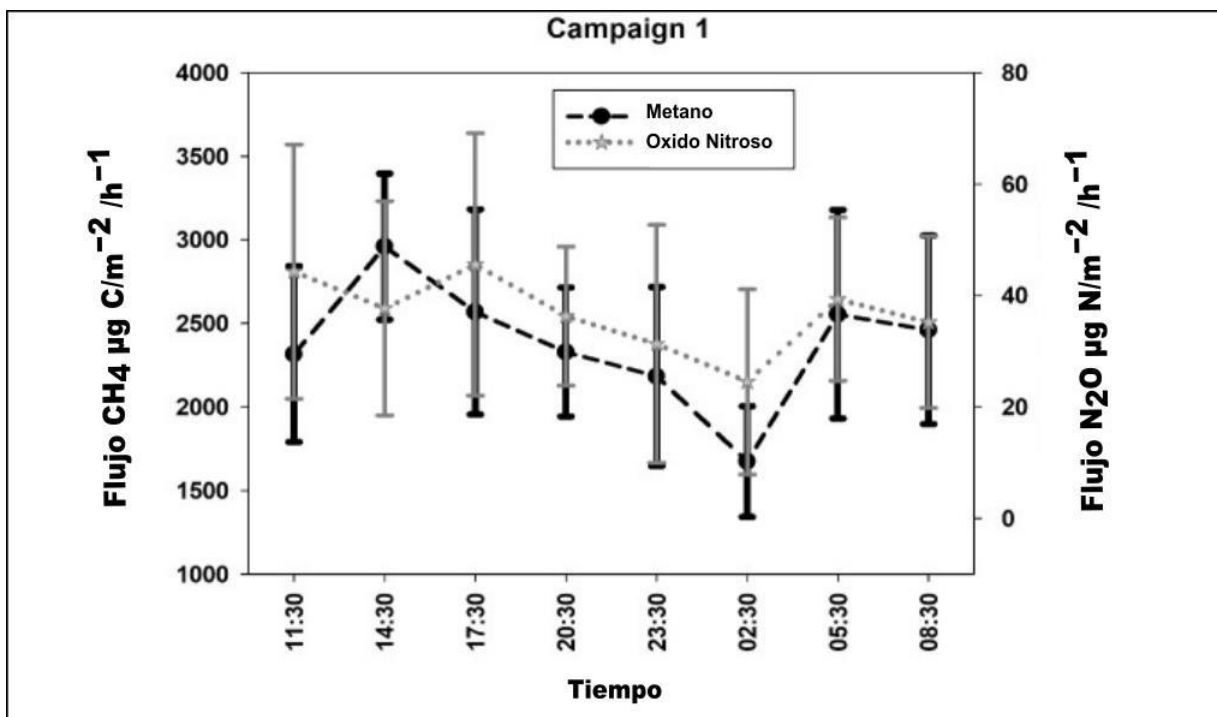


Figura 1. Variaciones diarios del flujo de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en la turbera de Quistococha. Las barras representan la media ± error estándar (n=3).

### Flujo diurno y nocturno de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en la segunda campaña de muestreo

**Tabla 3.** Durante la segunda campaña el CH<sub>4</sub> obtuvo una producción promedio de  $2446,36 \pm 2060,99 \mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (213,33 – 5798,47, n=12). Presentó un intervalo de confianza de 1309,49, un rango de 5585,14, y coeficiente de variación de 0,84. Durante la noche obtuvo una producción promedio de  $1862,59 \pm 1633,18 \mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (-113,99 – 4197,03, n=12). Presentó un intervalo de confianza de 537,27, un rango de 4311,02, y coeficiente de variación de 0,88. En la **Tabla 3, figura 2**, el flujo máximo de CH<sub>4</sub> de la turbera a la atmosfera fue de 5798,47  $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  a las 15:30 h, así mismo, en la presente campaña el flujo diario de CH<sub>4</sub> presentó absorción de 18:30 a 19:30 h. Entre los horarios establecidos (24 h), en las horas del día se observó una mayor emisión del gas CH<sub>4</sub>, entre las 12:30 a 15:30 h, y un ligero descenso del flujo en horas

próximos de la noche. Durante las horas de la noche se observó mayor emisión en los horarios de 21:00 y 00:30 h (Figura 2). Habiendo una diferencia en el flujo promedio del CH<sub>4</sub> entre el día y la noche, siendo mayor en el día.

Así mismo, en la **Tabla 3**, en relación a N<sub>2</sub>O, durante el día se obtuvo un promedio de  $4,87 \pm 6,13 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  (-6,37 – 13,92, n=12). Presentó un intervalo de confianza de 3,90, un rango de 20,30, y coeficiente de variación de 1,26. Durante la noche su producción tuvo un promedio de  $5,36 \pm 4,21 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  (-3,79 – 10,78, n=12). Presentó un intervalo de confianza de 2,68, un rango de 14,57, y coeficiente de variación de 0,79 (Tabla 3). El flujo máximo de N<sub>2</sub>O de la turbera a la atmosfera fue de  $18,50 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  a las 09:30 h, así mismo, en la presente campaña el flujo diario de N<sub>2</sub>O presentó absorción a las 15:30 h y 00:30 h. Durante el día, los horarios donde se observó una mayor emisión del gas de N<sub>2</sub>O fue entre 06:30 a 9:30 h. Durante las horas de la noche se observó mayor emisión en los horarios de 21:30 h y 03:30 h (**Figura 2**). A comparación de la primera campaña hubo una diferencia muy notable en cuanto al flujo promedio, siendo muy bajo en la segunda campaña. Así mismo, Habiendo una diferencia mínima en el flujo promedio del CH<sub>4</sub> entre el día y la noche, siendo mayor en horas de la noche.



Tabla 4. Valores estadísticos descriptivos de la segunda campaña de muestreo del gas CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en la turbera de Quistococha.

	Tiempo	n	Min	Max	median	Mean	sd	ci	Range	Cv
CH <sub>4</sub>	Dia	12	213,33	5798,47	2762,40	2446,36	2060,99	1309,49	5585,14	0,84
	Noche	12	-113,99	4197,03	1689,20	1862,59	1633,18	537,27	4311,02	0,88
N <sub>2</sub> O	Dia	12	-2,37	18,50	5,03	4,87	6,13	3,90	20,30	1,26
	Noche	12	-5,52	14,80	6,94	5,36	4,21	2,68	14,57	0,79

Tabla 5. Valores de la media, mediana (entre paréntesis) ± error estandar de flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en el suelo diario (24 horas).

	CH <sub>4</sub> flux (µg C m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	N <sub>2</sub> O flux (µg N m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )
Gases de suelo (n = 24)	2154,5 (2729,7) ± 376,2	5,4 (5,7) ± 1,4
Los flujos de suelo se expresan por área de suelo		

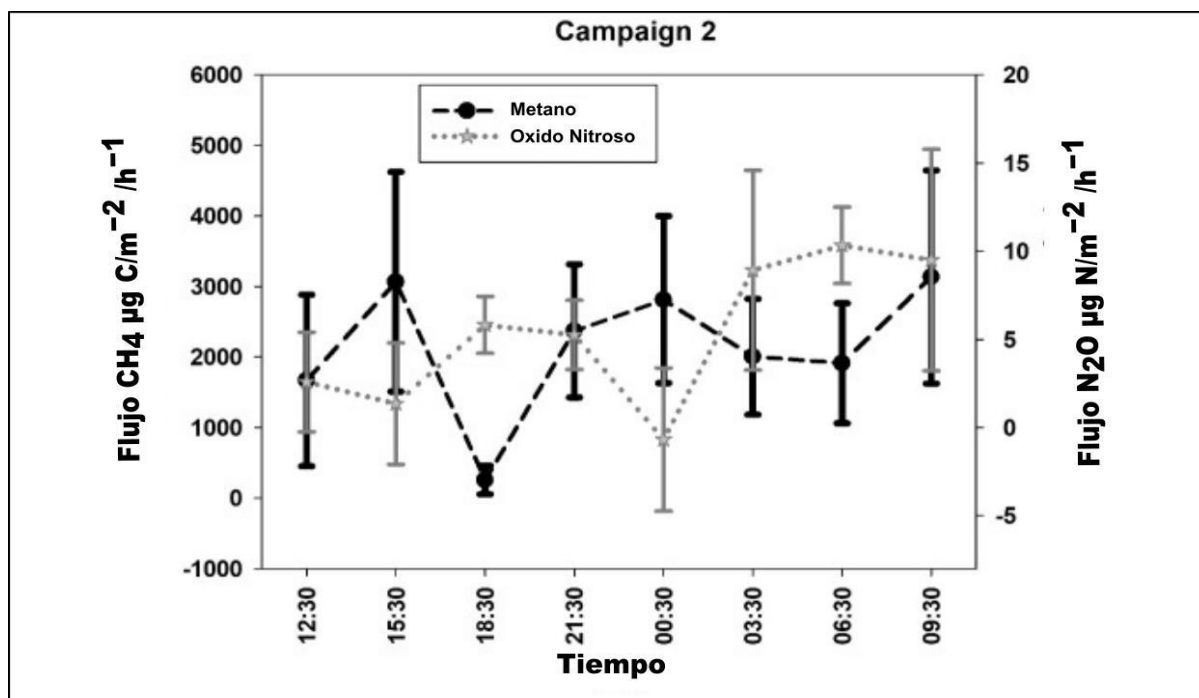


Figura 2. Variaciones diarios del flujo de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en la turbera de Quistococha. Las barras representan la media ± error estándar (n=3).

## Comparación de los ciclos diarios de los flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O

### Diferencias diurnas y nocturnas entre el flujo de CH<sub>4</sub>

En la figura 03 se observa la variación del ciclo diario del flujo de CH<sub>4</sub> de la primera campaña en diferentes tiempos (día y noche) en la turbera de Quistococha. No se encontraron diferencias significativas en el flujo de CH<sub>4</sub> entre el día y la noche ( $W = 87$ ,  $p\text{-value} = 0,41$ ). Así mismo, en la figura 04 de la segunda campaña, también se observaron la variación del ciclo diario del flujo de CH<sub>4</sub>, donde tampoco, se encontraron diferencias significativas en el flujo de CH<sub>4</sub> entre el día y la noche ( $W = 81$ ,  $p\text{-value} = 0,63$ ).

Este resultado rechaza completamente nuestra hipótesis esperada (Existe diferencia significativa en el ciclo diario de los gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O entre el día y la noche) indicando que la emisión del CH<sub>4</sub> no varía en diferentes tiempos, revelando la uniformidad en el ciclo diario del flujo del CH<sub>4</sub>, tanto en el día y la noche.

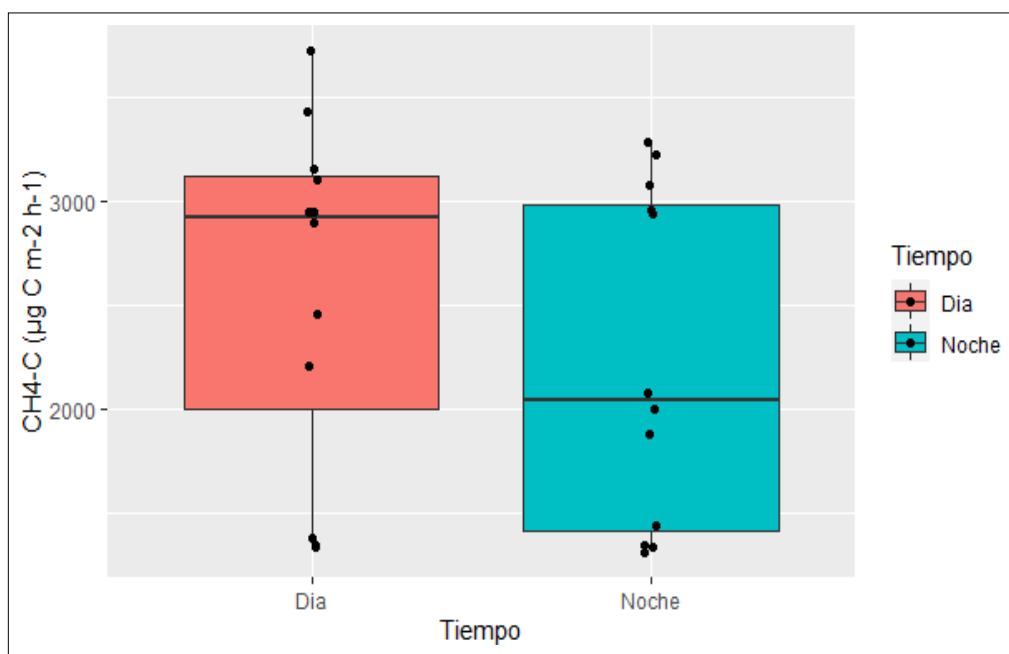


Figura 3. Comparación entre la producción del gas metano en diferentes tiempos

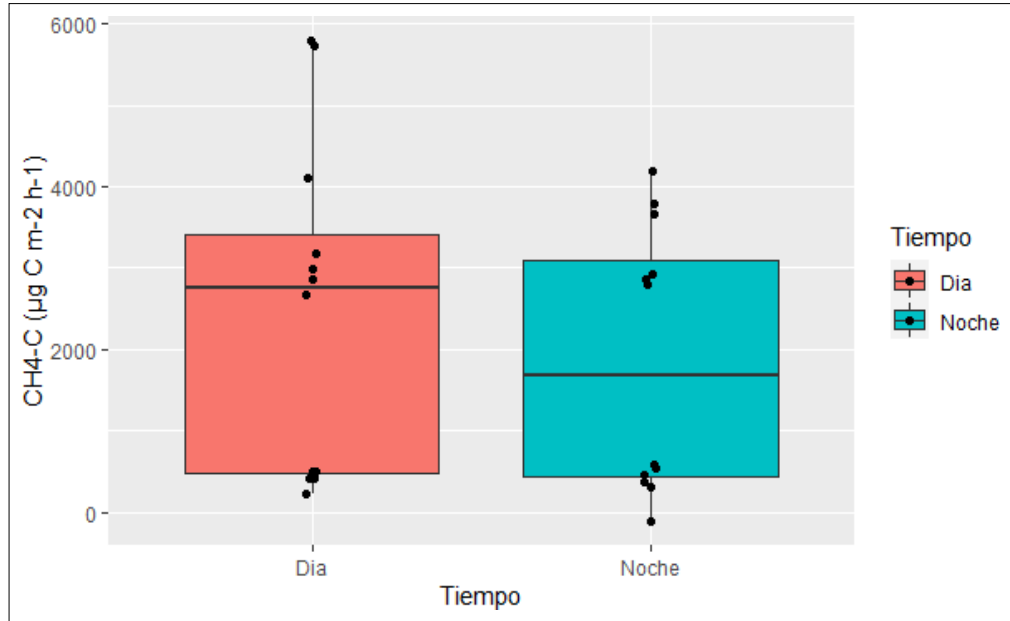


Figura 4. Comparación entre la producción del gas metano en diferentes tiempos

### Diferencias diurnas y nocturnas entre el flujo de N<sub>2</sub>O

En la figura 05, se observa la variación del ciclo diario del flujo de N<sub>2</sub>O de la primera campaña en diferentes tiempos (día y noche) en una turbera de Quistococha. No se encontraron diferencias significativas en el flujo de N<sub>2</sub>O entre el día y la noche ( $W = 84$ ,  $p\text{-value} = 0,51$ ). Así mismo, en el figura 06, también se observa la variación del ciclo diario del flujo de N<sub>2</sub>O de la segunda campaña. Donde tampoco se encontraron diferencias significativas en el flujo de N<sub>2</sub>O entre el día y la noche ( $W = 65$ ,  $p\text{-value} = 0,71$ ).

Este resultado rechaza completamente nuestra hipótesis esperada (Existe diferencia significativa en el ciclo diario de los gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O entre el día y la noche) indicando que la emisión del N<sub>2</sub>O no varía en diferentes tiempos, revelando la uniformidad en el ciclo diario del flujo de N<sub>2</sub>O, tanto en el día y la noche.

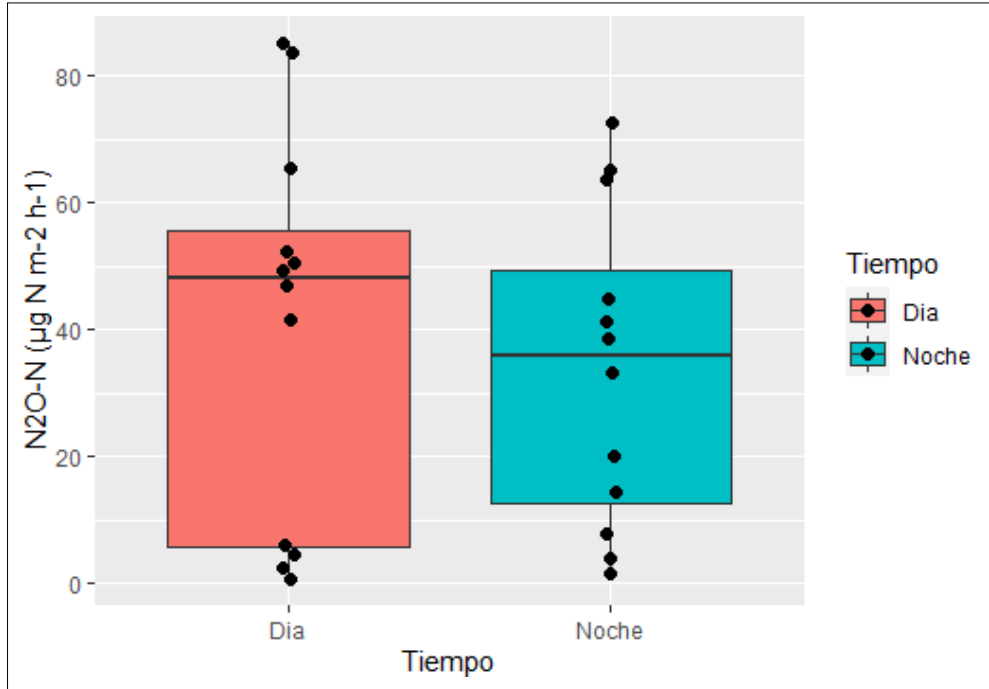


Figura 5. Comparación entre la producción del gas Oxido nitroso en diferentes tiempos.

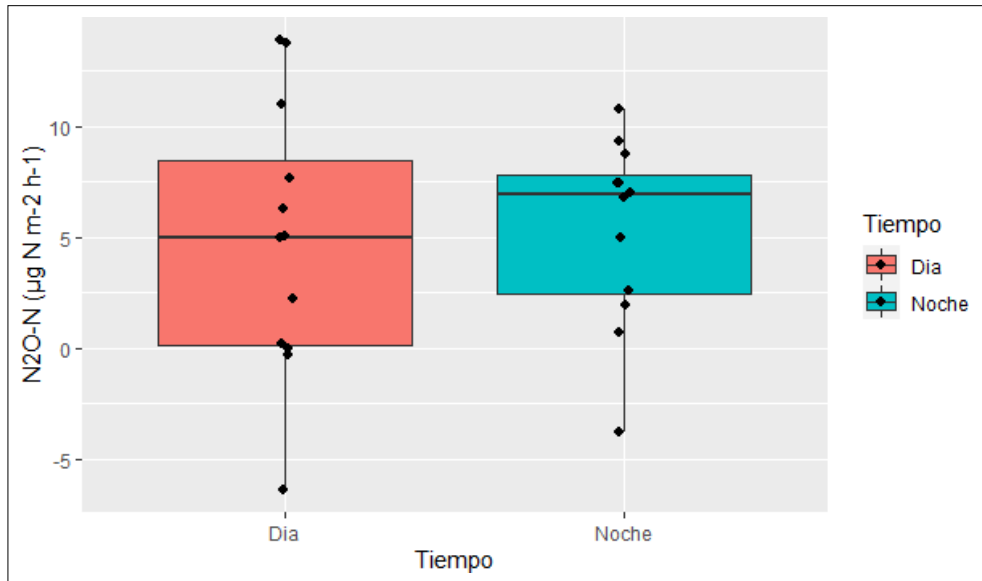


Figura 6. Comparación entre la producción del gas Oxido nitroso en diferentes tiempos.

### Diferencias entre los horarios del ciclo diario del flujo de CH<sub>4</sub>

En la **figura 07** muestra el ciclo diario de los flujos de CH<sub>4</sub> de la primera campaña en diferentes horas del día en la turbera de Quistococha. No se encontraron diferencias significativas entre el flujo diario de gas CH<sub>4</sub> en diferentes horarios (chi-cuadrado = 2,44, df = 7, p-valor = 0,9315). Así mismo, **la figura 08** también nos muestra el ciclo diario de los flujos de gas CH<sub>4</sub> de la segunda campaña, donde tampoco se encontraron diferencias significativas entre el flujo diario de gas CH<sub>4</sub> en diferentes horarios (chi-cuadrado = 6,96, df = 7, p-valor = 0,4331). Indicándonos el análisis par a par de Kruskal-Wallis la ausencia de diferencias significativas entre todos los horarios establecidos en las dos campañas. Estos resultados indican que durante el ciclo diario del flujo de CH<sub>4</sub> no varía ni en relación a diferentes horarios del día, rechazando rotundamente la primera hipótesis alterna.

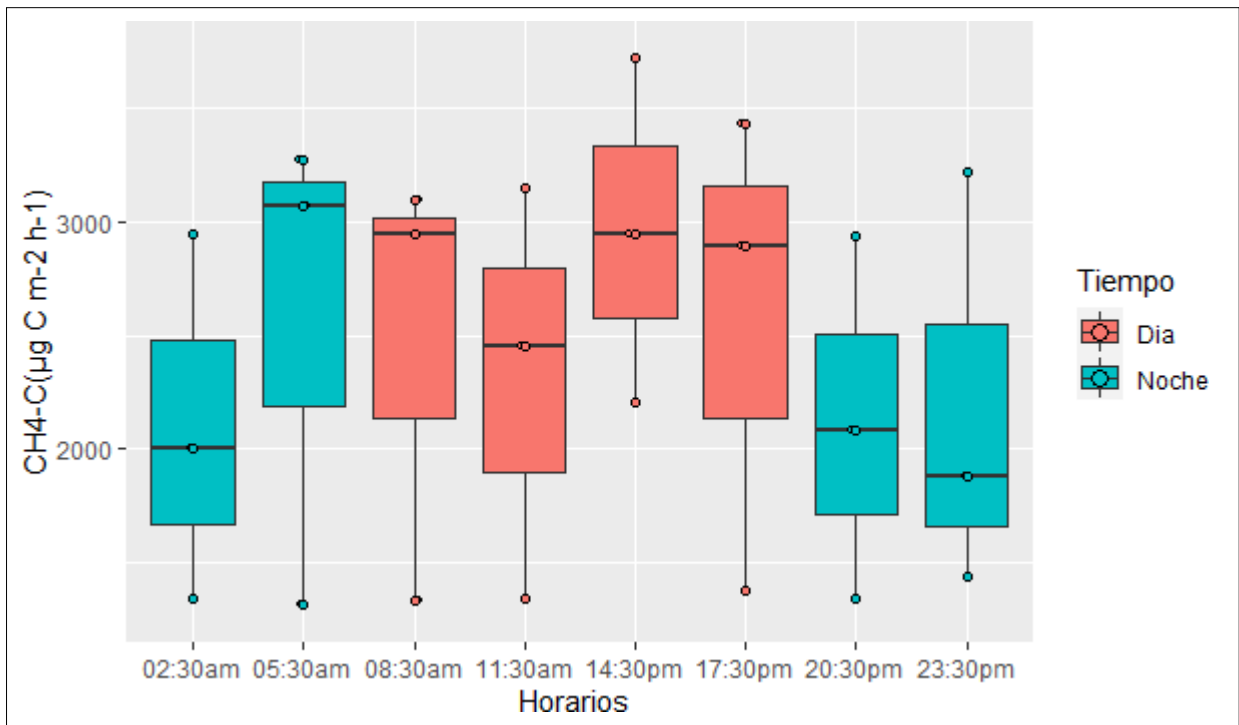


Figura 7. Comparación entre el flujo diario del gas metano en diferentes horarios

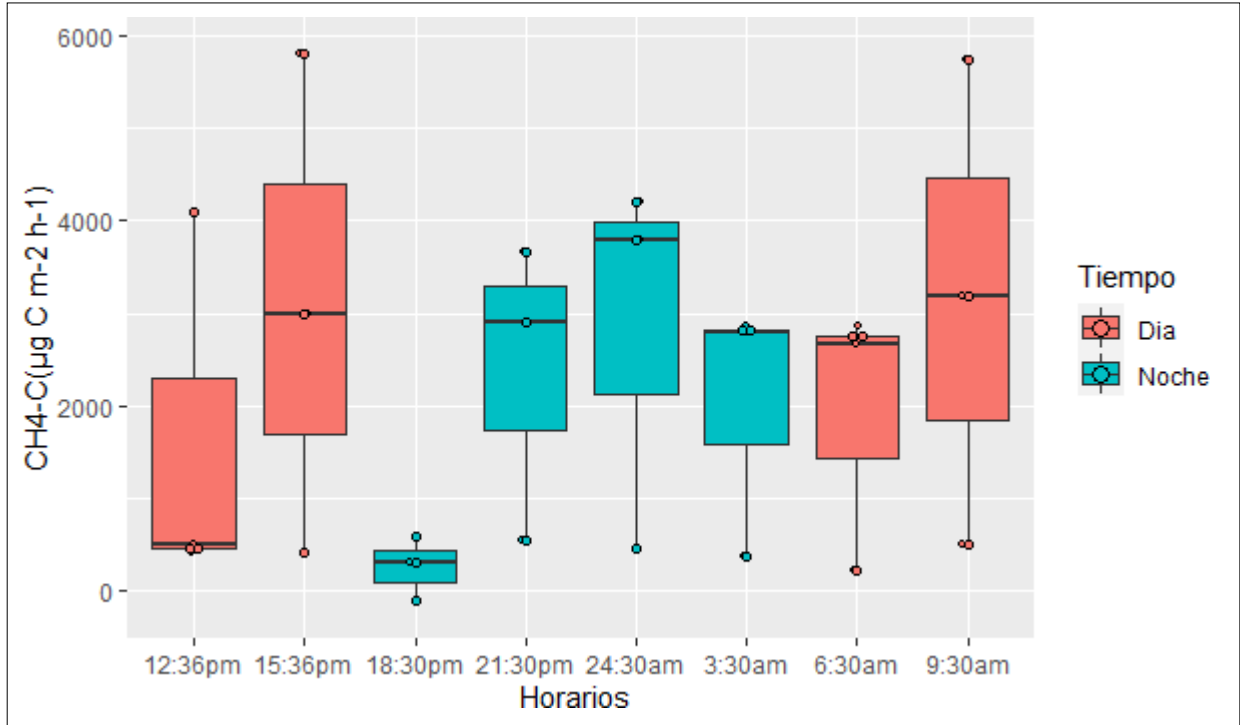


Figura 8. Comparación entre el flujo diario del gas metano en diferentes horarios

### Diferencias entre los horarios del ciclo diario del flujo de N<sub>2</sub>O

En la figura 09 se observa el ciclo diario de los flujos de N<sub>2</sub>O de la primera campaña en diferentes horas del día en la turbera de Quistococha. No se encontraron diferencias significativas entre el flujo diario de N<sub>2</sub>O en diferentes horarios (chi-squared = 1,1733, df = 7, p-value = 0,9915). Así mismo, en la figura 10 se observa el ciclo diario de los flujos de N<sub>2</sub>O de la segunda campaña en diferentes horas del día en la turbera de Quistococha, donde tampoco se encontraron diferencias significativas entre el flujo diario de N<sub>2</sub>O en diferentes horarios (chi-squared = 8,7867, df = 7, p-value = 0,2683). Indicándonos el análisis par a par de Kruskal-Wallis la ausencia de diferencias significativas entre todos los horarios establecidos en las dos campañas. Estos resultados nos indican que durante el ciclo diario del flujo del gas de N<sub>2</sub>O no varía ni

en relación a diferentes horarios del día, rechazando rotundamente la primera hipótesis alterna del estudio.

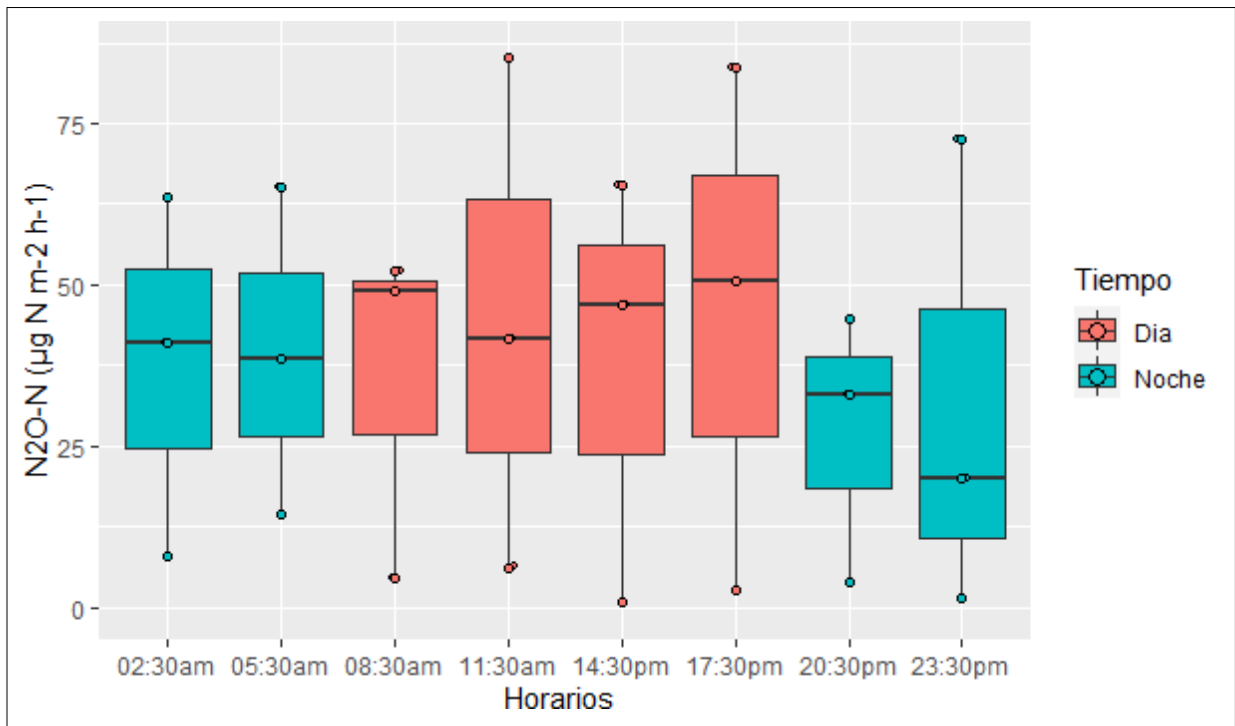


Figura 9. Comparación entre el flujo diario del gas óxido nitroso en diferentes horarios.

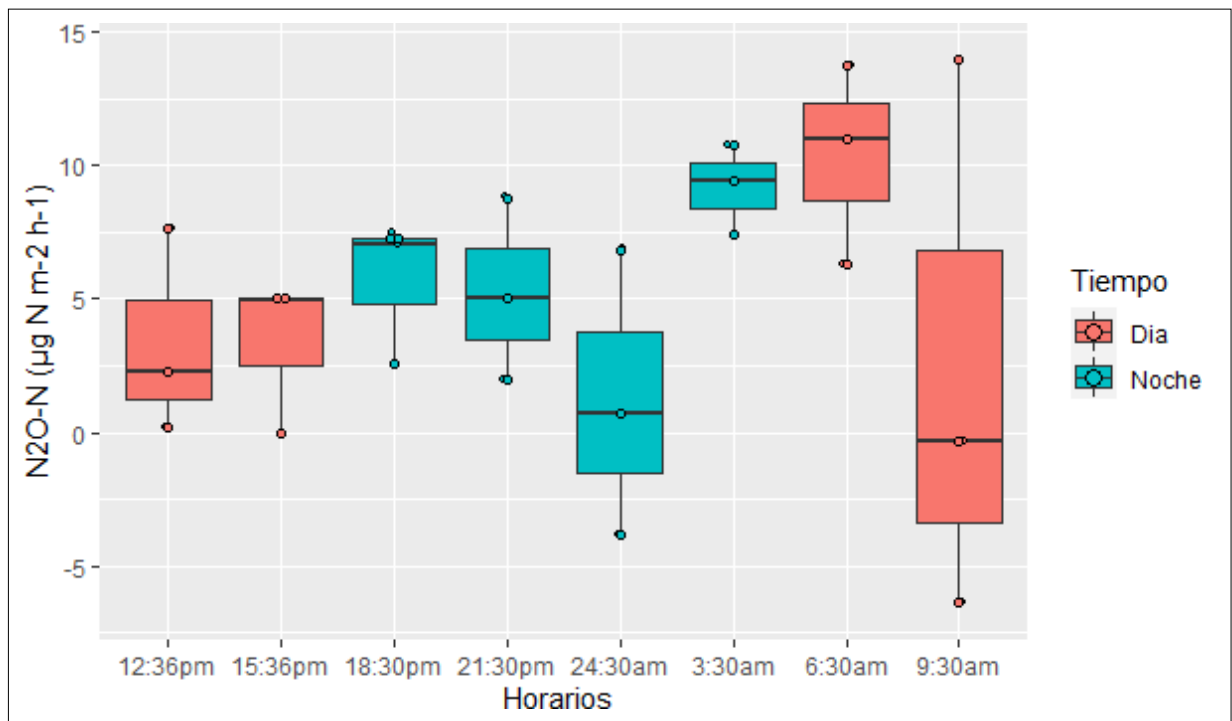


Figura 10. Comparación entre el flujo diario del gas óxido nitroso en diferentes horarios.

## Correlaciones de las variables ambientales y los flujos de gases de metano y óxido nitroso

En la Tabla 5 y la figura 11, 12, 13 y 14 se observa las correlaciones entre las variables ambientales y el flujo de los gases. En estos se puede observar en su mayoría correlaciones muy bajas entre todas las variables medidas, lo cual rechaza completamente nuestra hipótesis esperada (que los flujos de los gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O están siendo influenciado por las variables ambientales; temperatura del suelo, PAR y nivel freático). Además, se pueden observar que hay correlaciones positivas(+) y negativas (-). En los resultados obtenidos de la primera y segunda campaña si se observa con detalle que la unica variable ambiental que tuvo una correlación resaltable fue la variable temperatura con el CH<sub>4</sub>, según el test de Spearman tuvo una correlación positiva baja con un valor de 0,21 y 0,20 respectivamente, casi coincidentes en las dos campañas. Otra de las variables que se resalta es el nivel freático, que tuvo una correlación negativa baja con el CH<sub>4</sub> (-0,16) y el N<sub>2</sub>O (- 0,21) en la segunda campaña.

*Tabla 6. Correlaciones de las variables ambientales con los gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O*

Campaña 1		
Variables	Metano	Óxido Nitroso
Temperatura	0,21	0,11
Nivel freático	0,04	-0,10
Radiación_PAR	0,12	0,10
Campaña 2		
Variables	Metano	Óxido Nitroso
Temperatura	0,20	-0,09
Nivel freático	-0,16	-0,21
Radiación_PAR	0,14	-0,04



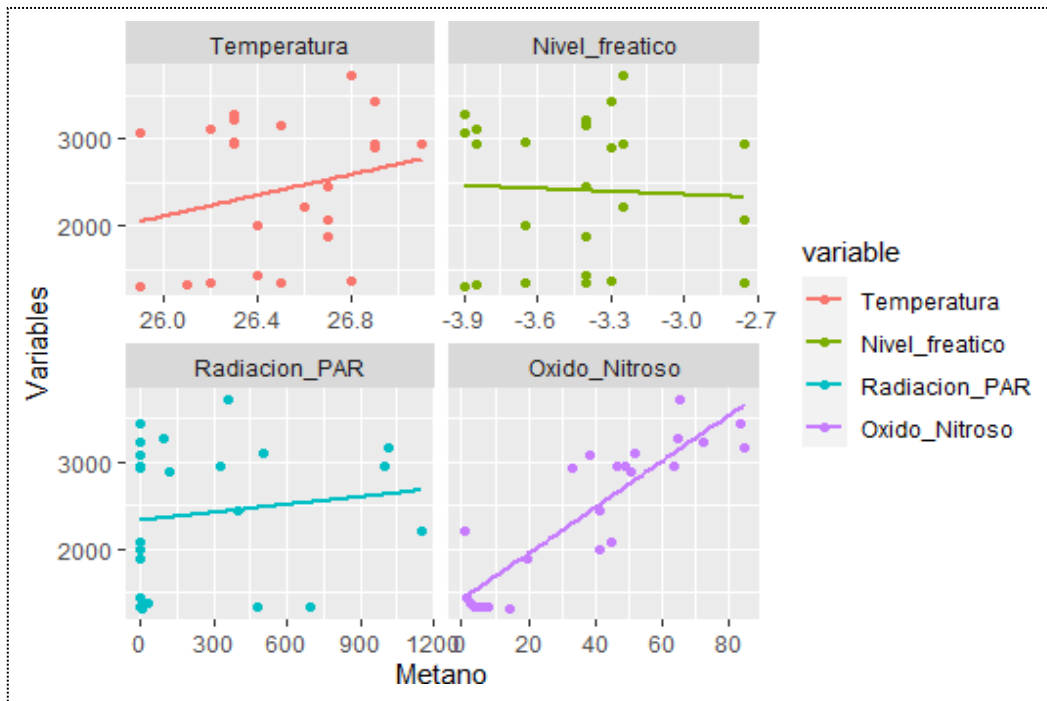


Figura 11. Correlación entre las variables ambientales y el flujo de metano de la primera campaña.

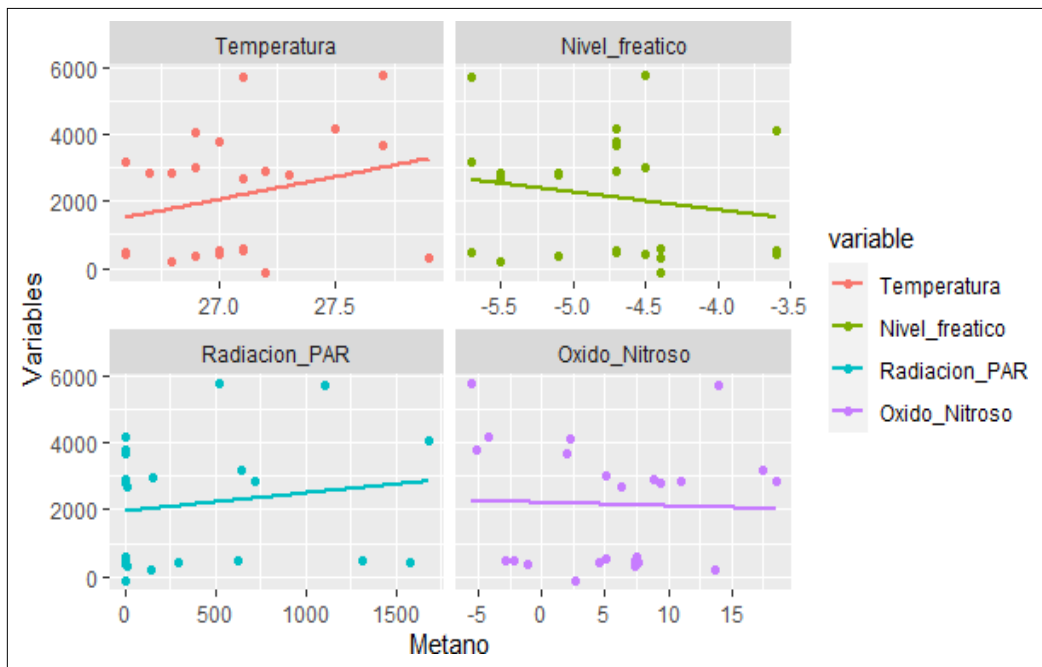


Figura 12. Correlación entre las variables ambientales y el flujo de metano de la segunda campaña.

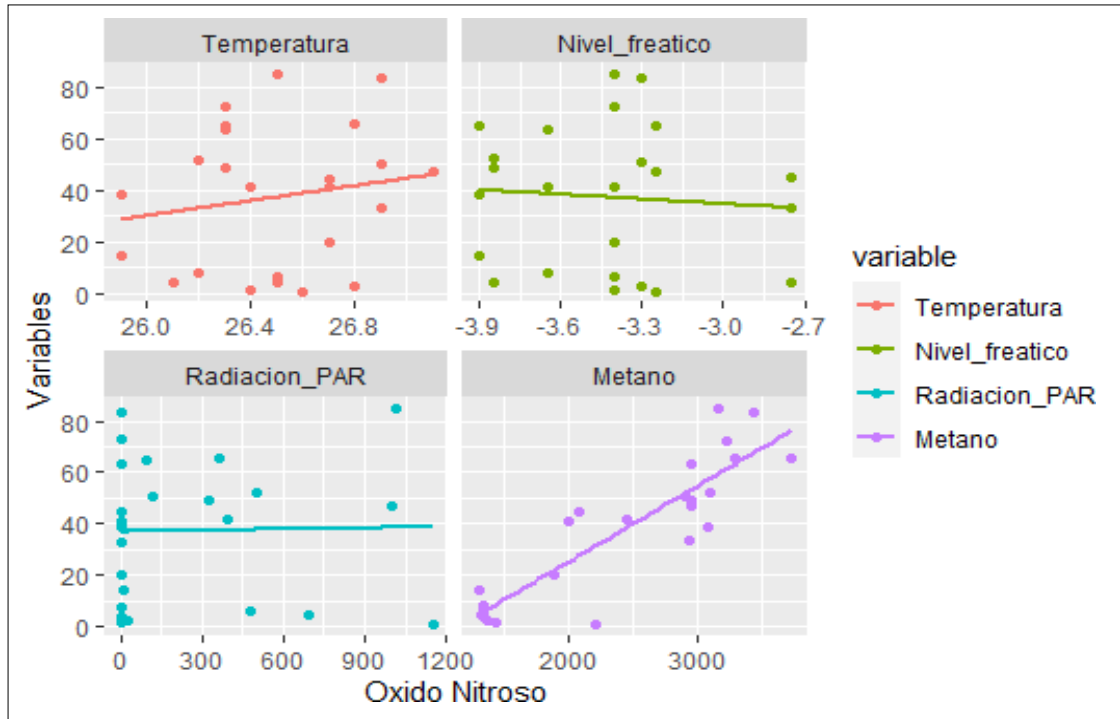


Figura 13. Correlación entre las variables ambientales y el flujo de óxido nitroso de la primera campaña.

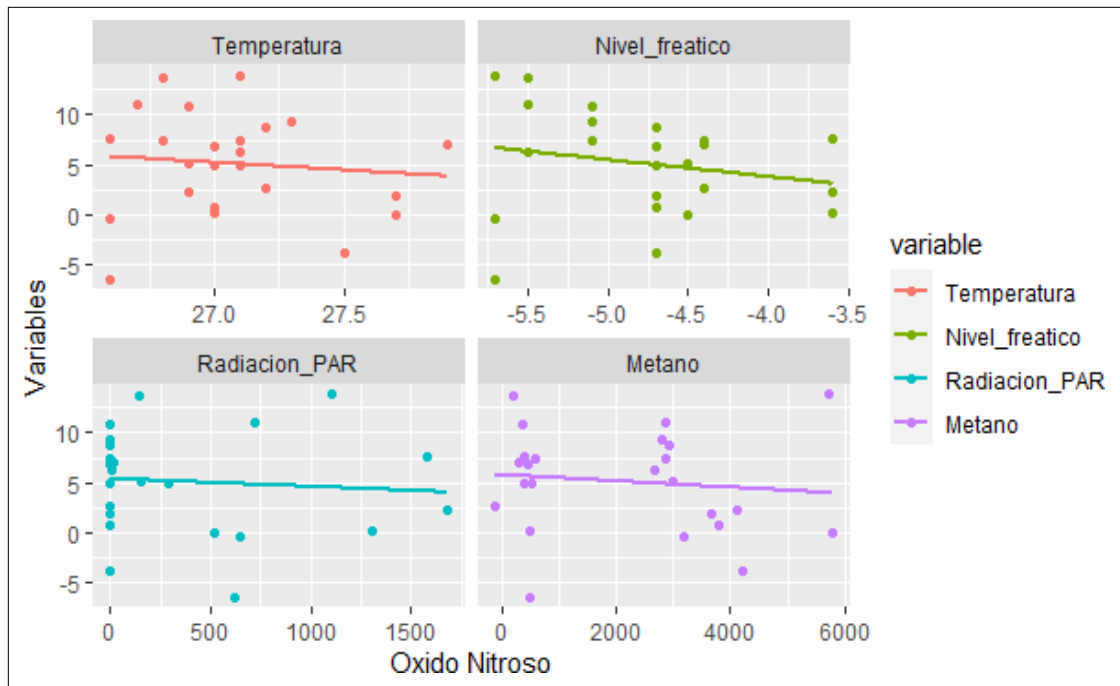


Figura 14. Correlación entre las variables ambientales y el flujo de óxido nitroso de la segunda campaña.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

### Variaciones diurnas y nocturnas de los flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O a escala diaria

De acuerdo a nuestro estudio, los flujos de CH<sub>4</sub> en la escala diaria fue positivo en todo momento, concordando con los resultados obtenidos por Soosaar et al., (2022), donde determina que los flujos del CH<sub>4</sub> siempre fueron emisores netos con un promedio de  $3618 \pm 465 \mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Siendo los flujos promedios del CH<sub>4</sub> mayores durante el día que durante la noche (Tabla 1;3). Sin embargo, mediante la prueba de Wilcoxon al 0,05% de error no hubo diferencias significativas estadísticamente entre el día y la noche en ambas campañas (Figura 3;4). Lo que indica que la turbera se comporta como una fuente que emite CH<sub>4</sub> desde ésta a la atmosfera. Así mismo, implica que el ciclo diario del flujo de CH<sub>4</sub> son constantes durante el día y la noche. Coincidiendo con los resultados obtenidos por Teh et al., (2017) donde determinan que los flujos de estegas no variaron significativamente durante el transcurso de un tiempo de un día. Así mismo, tampoco presentó diferencias significativas entre el flujo diario de gas CH<sub>4</sub> en diferentes horarios, según el análisis par a par de Kruskal-Wallis (Figura 7; 8). En relación a los flujos de N<sub>2</sub>O demostró un patrón complejo con valores positivos en algunos momentos y valores negativos en otros momentos en la escala diaria (Tabla 1;3), lo que sugiere que la turbera puede desempeñar doble función tanto en la emisión y absorción débil de gases de N<sub>2</sub>O en la escala diaria. Contrastando con los resultados obtenidos por Soosaar et al., (2022), donde determina que las emisiones variaron mucho en los promedios de los flujos de N<sub>2</sub>O de acuerdo a las comparaciones entre los muestreos realizadas cerca de las palmeras y arboles de la especie *Symphonia globulifera* ( $143 \pm 68,4 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  y  $53,8 \pm 24,04 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) en el mismo tiempo

y lugar. Entonces pudiéndose afirmar que las emisiones de  $N_2O$  estaría siendo influenciado por los tipos de vegetaciones presentes en el lugar. Así mismo, en la primera campaña los flujos promedios de  $N_2O$  es mayor durante el día que durante la noche (Tabla 1), mientras, que en la segunda campaña el flujo promedio fue menor durante el día que durante la noche (Tabla 3). De igual manera, no presenta diferencias significativas estadísticamente en los flujos entre el día y la noche (Figura 5; 6), lo que implica que el ciclo diario del flujo de  $N_2O$  son constantes durante el día y la noche. Así mismo, tampoco presenta diferencias significativas entre el flujo diario de gas  $N_2O$  en diferentes horarios, según el análisis par a par de Kruskal-Wallis (Figura 9; 10). Concordando con los resultados obtenidos por Teh et al., (2017) donde determinan que los flujos de este gas no variaron significativamente durante el transcurso de un periodo de un día.

### **Ciclo diario de los flujos de $CH_4$ y $N_2O$**

La emisión del  $CH_4$  durante las horas del día es frecuentemente mayor en comparación de las emisiones durante las horas de la noche (Fig.1 y 3), lo que es consistente con los resultados de (Tong et al., 2013), quienes observaron mayores emisiones de  $CH_4$  en un pantano subtropical durante el día en comparación con la noche. Las posibles razones de estas conclusiones estarían siendo influenciados de las siguientes variables: La temperatura elevado del suelo en horas del día aumentó la producción y emisión del  $CH_4$ ; el aumento de la luz solar puede hacer que la ruta de transporte de  $CH_4$  mediada por plantas cambie de un mecanismo difusivo durante la noche a un mecanismo convectivo durante el día, por lo tanto, la tasa de transporte convectivo es mayor que la difusiva (Whiting y Chanton 1996), este último se menciona por la

presencia de hierbas y/o líquenes dentro del área de la cámara de muestreo instalados que pudo haber influenciado moderadamente.

Así mismo, en el presente estudio, las emisiones de CH<sub>4</sub> aumentó gradualmente después del amanecer en las dos campañas de muestreo y alcanzó sus valores máximos iniciando desde cerca del mediodía (11:00 h) hasta la tarde (15:00 h) aproximadamente, lo que es consistente con los hallazgos de Xu et al., (2017), donde indican que el flujo aumentó desde las horas de la mañana alcanzando su máximo pico alrededor de medio día. Así mismo, el pico de emisiones a primera hora de la tarde (13:00 h) puede ser una respuesta tardía tanto a la actividad fotosintética máxima como a la temperatura máxima (Järveoja et al., 2020). El aumento en horas de la mañana se debió al cambio en las condiciones de luz y la apertura estomática al amanecer (Chanton et al., 1993), son procesos físico químicos que está muy relacionado con la variable de radiación fotosintéticamente activa (PAR).

En relación al flujo de N<sub>2</sub>O en la primera campaña durante el día es mayor que en la noche (Tabla 1), lo que parece indicar que la luz puede aumentar las emisiones de N<sub>2</sub>O en la interfaz agua-aire; lo que es consistente con los resultados obtenidos por Tong et al., (2013), dado que el área de muestreo estuvo con agua ligeramente por encima de la superficie. Por otro lado, no es consistente con los hallazgos de Laursen y Seitzinger (2004) de que los flujos netos de N<sub>2</sub>O son generalmente más altos en la noche que durante el día, no obstante, todo esto puede darse por el incremento de la humedad en horas de la noche, una variable que está muy relacionado con la temperatura. Sin embargo, con los resultados obtenidos de la segunda campaña es consistente, ya que los flujos de N<sub>2</sub>O en horas de la noche es mayor (Tabla 3), este

resultado también es consistente con los resultados obtenidos por Xu et al., (2017). Esta diferencia en los resultados obtenidos por los diferentes autores puede darse por la metodología aplicada y tipo de lugar seleccionado para la evaluación de los flujos de los gases. Como también esta diferencia mínima en los promedios tanto en el día y en la noche pueden estar siendo influenciados por las precipitaciones frecuentes que se presentaron en los meses de marzo, característica propia de este mes o época en relación a la segunda campaña, pudiendo contrastarse con los resultados de (Saldaña-munive et al., 2014), donde menciona que en el periodo lluvioso el factor humedad jugó un papel determinante en la producción y emisión de  $N_2O$ , como también, Ball et al. (1999) señalan que los picos de emisión de  $N_2O$  se asocian con altas precipitaciones. Dobbie y Smith (2003) argumentan que los flujos de  $N_2O$  se incrementan inmediatamente después de los eventos de lluvia, lo que también concuerda con lo mencionado líneas arriba y la época realizada los trabajos de muestreo en esta investigación. Así mismo, contrastando con otros estudios de Teh et al., (2017) coincidimos en que el flujo de  $N_2O$  fue insignificante, concluyendo que las turberas amazónicas intactas no hacen una contribución significativa del gas de  $N_2O$  a la atmosfera.

### **Relación entre los flujos de $CH_4$ y $N_2O$ , entre las temperaturas del suelo, radiación PAR y el nivel freático a escala diaria**

En estudios anteriores, la temperatura del suelo se ha considerado uno de los principales factores ambientales, y las correlaciones han variado, desde una correlación lineal positiva (Verville et al. 1998) a ninguna correlación (Klinger et al. 1994). Sin embargo, pocos estudios han demostrado correlaciones altas entre el flujo

de CH<sub>4</sub> y la temperatura del suelo a escala diaria. Griffis et al., (2020) y Hirota et al. (2007) concluyeron que las correlaciones entre el flujo de CH<sub>4</sub> y la temperatura del suelo fueron positivos débiles, ni estadísticamente significativo en condiciones de luz en una escala diaria. Estos resultados concuerdan muy bien con los resultados obtenidos en nuestro estudio, donde los flujos de CH<sub>4</sub> presentó una correlación positiva débil, pero que indica que el CH<sub>4</sub> pareció no ser influenciado por la temperatura del suelo (Tabla 5), lo que no es consistente con los resultados obtenidos de (Tong et al., 2013), donde determinaron que las variaciones del flujo de CH<sub>4</sub> fueron influenciadas por la temperatura del suelo tanto durante el día como durante la noche, sin embargo, esta diferencia puede darse por la característica del lugar de estudio, donde la radiación solar pudo haber entrado de manera directa en la superficie. Sin embargo, un estudio con un periodo más largo de evaluación pudiese cambiar. Así mismo, la variable nivel freático en la primera y segunda campaña no presenta correlación CH<sub>4</sub> (0,4; -0,16) (Tabla 6 y Figura 11; 12), respectivamente, lo cual no es consistente con los estudios y resultados muy recientes obtenidos por Griffis et al., (2020), donde determina que las relaciones de CH<sub>4</sub> entre el nivel freático fueron positivos débiles, ni estadísticamente significativas, esto podría darse por la metodología aplicada y por los periodos más largo muestreado. Así mismo, con los resultados obtenido por Hergoualc'h et al., (2020) donde determina una correlación débil entre el CH<sub>4</sub> y el nivel freático. Sin embargo, con campañas de muestreo más largo puede haber una correlación mucho mayor, ya que la variable nivel freático está muy relacionado con los flujos de CH<sub>4</sub>, según Hergoualc'h et al., (2020). En relación a la radiación fotosintéticamente (PAR) en el flujo de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O fue la variable que no

presenta una correlación (Tabla 5), esto a pesar de que la variable radiación PAR está muy relacionada con el incremento de la temperatura y la reducción del nivel freático, simultáneamente activa los procesos físico químico de las plantas (Maycottre, et al., 2002), como también las asociaciones simbióticas entre los hongos y las raíces de las plantas vasculares (Dai, 1996). Esta nula correlación puede estar ocurriendo por la complejidad del ecosistema que representa, ya sea por la diversidad, densidad y heterogeneidad de la vegetación que caracteriza a estos ecosistemas de turberas. Esto impide que las especies de árboles cercanos o alrededores a las cámaras de muestreo instalados no estén recibiendo suficiente luz solar, por lo tanto, no hay una adecuada distribución de la luz dentro de la copa causado por la densidad de la vegetación limitando el proceso de la fotosíntesis, como también, esta característica misma puede estar influyendo en otras variables como la temperatura y el nivel freático ya que las luz solar estaría siendo impedido penetrar la superficie del bosque, por lo tanto habiendo poca radiación PAR a nivel del suelo.

De la misma manera, pocos estudios han manifestado correlaciones entre los flujos de  $N_2O$  y la temperatura del suelo en pantanos a escala diaria. Los resultados obtenidos en nuestro estudio parecen indicar que la temperatura del suelo no influye en las variaciones diarias del flujo de  $N_2O$  (Tabla 6), lo cual es consistente con los hallazgos de Tong et al., (2013) y de Hirota et al., (2007). Entre los dos gases, el  $CH_4$  pareció estar más débilmente correlacionado por la temperatura del suelo en las dos campañas. En relación a la variable nivel freático, tampoco es una variable que presenta una correlación o haya influenciado significativamente en los flujos de  $N_2O$  (Tabla 6), coincidiendo con los resultados obtenidos por (Tauchnitz et al., 2008) en



turberas. Sin embargo, en una escala de medición más larga, donde se abarque los periodos secos y lluviosos, podrían presentarse una relación entre estas dos variables, ya que el flujo de  $N_2O$  está muy relacionado con los niveles freáticos, por lo tanto, un periodo lluvioso puede desencadenar paralelo una liberación de  $N_2O$  significativo según Hergoualc'h et al., (2020) y Pärn, et al., (2021).

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES

- El CH<sub>4</sub> en la turbera de Quistococha, durante la primera y segunda campaña presentó un flujo promedio diario de 2407,9 y 2154,5 ( $\mu\text{g-C/m}^{-2}/\text{h}^{-1}$ ), respectivamente. Así mismo, el N<sub>2</sub>O presentó un flujo promedio diario de 37,3 y 5,4 ( $\mu\text{g-N/m}^{-2}/\text{h}^{-1}$ ), respectivamente.
- El flujo promedio de CH<sub>4</sub> durante la primera campaña presentó una diferencia mínima entre el día y la noche con un valor de 2576,33 y 2239,49 ( $\mu\text{g-C/m}^{-2}/\text{h}^{-1}$ ), respectivamente, y durante la segunda campaña con un valor de 2446,36 y 1862,59 ( $\mu\text{g-C/m}^{-2}/\text{h}^{-1}$ ), respectivamente, siendo mayor durante los días. Así mismo, el N<sub>2</sub>O presentó una diferencia mínima entre el día y la noche con un valor de 40,69 y 33,85 ( $\mu\text{g-N/m}^{-2}/\text{h}^{-1}$ ), respectivamente, y durante la segunda campaña con un valor de 4,87 y 5,36 ( $\mu\text{g-N/m}^{-2}/\text{h}^{-1}$ ), respectivamente, siendo mayor durante el día en la primera campaña y viceversa en la segunda campaña.
- Los flujos de gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O entre los horarios establecidos (24 h) en las dos campañas muestreados se pudo observar un comportamiento muy frecuente; en donde las mayores emisiones fueron durante el día, entre las 11:00 a 15:00 h aproximadamente.
- El flujo de CH<sub>4</sub> en la primera y segunda campaña no varió significativamente, con respecto a los turnos del día y la noche (**n = 24; W = 87; p-value = 0,41**) y (**n = 24; W = 81; p-value = 0,63**), respectivamente. Así mismo, tampoco se encontraron diferencias significativas entre el flujo diario en diferentes horarios. En relación al flujo de N<sub>2</sub>O, tampoco presentó una variación significativa entre

el turno del día y la noche en ambas campañas (**n = 24; W = 84; p-value = 0,51**) y (**n = 24; W = 65; p-value = 0,71**), respectivamente, ni diferencias significativas entre el flujo diario en diferentes horarios.

- Las variables ambientales de temperatura de suelo, radiación fotosintéticamente activa y el nivel freático presentaron correlaciones bajas o débiles y nulas entre los flujos diarios de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en la turbera de Quistococha, según el test de Spearman. Sin embargo, al que se tiene poner principal atención son las variables temperatura del suelo y nivel freático, ya que presentaron una correlación positiva débil (0,21) en relación al CH<sub>4</sub>, y una correlación negativa débil (-0,21) en relación al N<sub>2</sub>O, respectivamente.

## CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

- Aumentar la frecuencia de muestreo de una ronda cada 3 horas, a una ronda cada 2 horas, que permitiría comprender con mayor detalle los flujos diarios de los gases.
- Observar las correlaciones de los gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O entre las variables nivel freático y temperatura del suelo con mayor número de campañas de muestreo.
- En el estudio de los flujos diurnos y nocturnos diarios de los gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, es de mucha importancia incluir otras variables como la temperatura del aire, entre otros, en la búsqueda de determinar la variable de mayor influencia.
- Incrementar los números de muestreos del ciclo diarios de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O abarcando diferentes épocas del año, aquello nos permitiría comprender mejor sobre las variaciones de estos gases a escala diaria en relación a las épocas.
- Para el manejo ordenado de los frascos de vidrio de 50 ml tener una caja con subdivisiones correspondientes a cada frasco (Anexo 2.7). Así mismo, realizar con mucho cuidado al momento de realizar las codificaciones de los frascos de vidrios donde se obtendrán las muestras.
- Familiarizarse muy bien con el protocolo de muestreo para obtener resultados óptimos y fehacientes.

## CAPITULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

Andrew E. Laursen; Sybil P. Seitzinger (2004). Diurnal patterns of denitrification, oxygen consumption and nitrous oxide production in rivers measured at the whole-reach scale. , 49(11), 1448–1458. doi:10.1111/j.1365-2427.2004.01280.x

Bodelier, P. L. E., & Laanbroek, H. J. (2004). Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. *FEMS Microbiology Ecology*, 47(3), 265–277. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(03\)00304-0](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(03)00304-0)

Center for International Forestry Research. (26 de septiembre 2017). Científicos: Urge reconocer el rol de las turberas frente al cambio climático. <https://forestsnews.cifor.org/51730/cientificos-urge-reconocer-el-rol-de-las-turberas-frente-al-cambio-climatico?fnl=en>

Chanton, J.P., G.J. Whiting, J.D. Happell, and G. Gerard. 1993. Contrasting rate and diurnal patterns of methane emissions from emergent aquatic macrophytes. *Aquatic Botany* 46: 111–128.

Christensen, T. R., Ekberg, A., Ström, L., Mastepanov, M., Panikov, N., Öquist, M., Svensson, B. H., Nykänen, H., Martikainen, P. J., & Oskarsson, H. (2003). Factors controlling large scale variations in methane emissions from wetlands. *Geophysical Research Letters*, 30(7). <https://doi.org/10.1029/2002GL016848>

Dai, X. 1996. Influence of light conditions in canopy gaps on forest regeneration: a new gap light index and its application in a boreal forest in eastcentral Sweden. *For. Ecol. Man.* 84:187-197.

Dupar, M. (2019). *El Informe Especial del IPCC sobre Cambio Climático y la Tierra ¿*

*Qué significa para América Latina ?*

- Elias , E. A., Chichota, R., Torraiana, H. H., & Jong , Q. (2004). Modelo analítico de Temperatura del Suelo: Corrección por variación temporal de amplitud diaria. *Revista de la sociedad de ciencia del Suelo de America*, 68 (3): 784-788.
- Epstein, P. S., & Plesset, M. S. (1950). On the stability of gas bubbles in liquid-gas solutions. *The Journal of Chemical Physics*, 18(11), 1505–1509. <https://doi.org/10.1063/1.1747520>
- Finn, D. R., Ziv-El, M., van Haren, J., Park, J. G., del Aguila-Pasquel, J., Urquiza-Muñoz, J. D., & Cadillo-Quiroz, H. (2020). Methanogens and Methanotrophs Show Nutrient-Dependent Community Assemblage Patterns Across Tropical Peatlands of the Pastaza-Marañón Basin, Peruvian Amazonia. *Frontiers in Microbiology*, 11(April), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00746>
- Graham, S. A., Craft, C. B., McCormick, P. V., & Aldous, A. (2005). Forms and accumulation of soil P in natural and recently restored peatlands - Upper Klamath Lake, Oregon, USA. *Wetlands*, 25(3), 594–606. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2005\)025\[0594:FAAOSP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2005)025[0594:FAAOSP]2.0.CO;2)
- Griffis, T. J., Roman, D. T., Wood, J. D., Deventer, J., Fachin, L., Rengifo, J., Castillo, D. Del, Lilleskov, E., Kolka, R., Chimner, R. A., Aguila-pasquel, J., Wayson, C., Hergoualc, K., Baker, J. M., Cadillo-quiroy, H., Ricciuto, D. M., Forest, U., Northern, S., & Rapids, G. (2020). Agricultural and Forest Meteorology Hydrometeorological sensitivities of net ecosystem carbon dioxide and methane exchange of an Amazonian palm swamp peatland. *Agricultural and Forest*

<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108167>

Hergoualc'h, K., Dezzeo, N., Verchot, L. V., Martius, C., van Lent, J., del Aguila-Pasquel, J., & López Gonzales, M. (2020). Spatial and temporal variability of soil N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> fluxes along a degradation gradient in a palm swamp peat forest in the Peruvian Amazon. *Global Change Biology*, 26(12), 7198–7216. <https://doi.org/10.1111/gcb.15354>

Hernández, M. E. (2009). SUELOS DE HUMEDALES COMO SUMIDEROS DE CARBONO Y FUENTES DE METANO Wetland Soils as Carbon Sinks and Sources of Methane. *Terra Latinoamericana*, 28, 139–147.

Hirota, M., Y. Senga, Y. Seike, S. Nohara, and H. Kunii. 2007. Fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in two contrastive fringing zones of coastal lagoon, Lake Nakaumi, Japan. *Chemosphere* 68: 597–603.

Honorio, E., & Baker, T. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Lima: Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana /Universidad de Leeds.

Hutchinson , G. L., & livingston, G. P. (1993). Use of chamber systems to measure trace gas fluxes. *ASA Specail Publications* 4, 63 - 78.

Illarze, G., del Pino, A., Riccetto, S., & Irisarri, P. (2018). Nitrous oxide emission, nitrification, denitrification and nitrogen mineralization during rice growing season in 2 soils from Uruguay. *Revista Argentina de Microbiologia*, 50(1), 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.05.004>

- Inubushi, K., Otake, S., Furukawa, Y., Shibasaki, N., Ali, M., Itang, A. M., & Tsuruta, H. (2005). Factors influencing methane emission from peat soils: Comparison of tropical and temperate wetlands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71(1), 93–99. <https://doi.org/10.1007/s10705-004-5283-8>
- Iturraspe, Rodolfo (2010). Las turberas de Tsierra del fuegoy el cambio climático global. - 1a ed.- buenosAires: Fundación para laConservación y el Uso Sustentable deLos Humedales.
- IDC. (02 de Octubre de 2019). Nivel Freatico del Suelo. En. Ingenieria de caminos. [en linea]. Obtenido de <http://ingeniero-decamaninos.com/nivel-freatico/>
- IPCC. (2019). Annex I: Glossary van Diemen, R. (ed.). In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/glossary/>
- IPCC. (2013). Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América. Obtenido de [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SPM\\_brochure\\_es.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf). Acceso em, 21.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B.



Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Järveoja, J., Nilsson, M. B., Crill, P. M., & Peichl, M. (2020). Bimodal diel pattern in peatland ecosystem respiration rebuts uniform temperature response. *Nature Communications*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18027-1>

Jones, R. D., & Morita, R. Y. (1983). Methane oxidation by *Nitrosococcus oceanus* and *Nitrosomonas europaea*. *Applied and Environmental Microbiology*, 45(2), 401–410. <https://doi.org/10.1128/aem.45.2.401-410.1983>

Joosten, Hans & Couwenberg, J.. (2008). Peatlands and carbon. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change. 99-117.

Joosten, H., & Clarke, D. (2002). Wise use of mires and peatlands. *International Mire Conservation Group and International Peat Society*, 304.

Klinger, L.P., P.R. Zimmerman, J.P. Greenberg, L.E. Heidt, and A.B. Guenther. 1994. Carbon trace gas fluxes along a succession gradient in the Hudson Bay lowland. *Journal of Geophysical Research* 99: 1469–1494.

Laanbroek\*, H. J., & Department. (2010). *Methane emission from natural wetlands : interplay between emergent macrophytes and soil microbial processes . A mini-review*. 141–153. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp201>

Lena Ström, M. M. and T. R. C. (2005). Species-Specific Effects of Vascular Plants on Carbon Turnover and Methane Emissions from Wetlands. *Production*, 7(27), 2008–2010. <https://doi.org/10.1007/s>

- Lähteenoja, O., Ruokolainen, K., Schulman, L., and Oinonen, M. 2009a. Amazonian peatlands: an ignored C sink and potential source; *Global Change Biology* (2009) 15, 2311–2320, doi: 10.1111/j.1365-486.2009.01920.x.
- Lähteenoja, O. y S. Page (2011), Alta diversidad de tipos de ecosistemas de turberas tropicales en el Pastaza-cuenca del marañón, amazonia peruana, *J. Geophys. Res.*, 116, G02025, doi:10.1029/2010JG001508.
- Laursen, A.E., and S.P. Seitzinger. 2004. Diurnal patterns of denitrification, oxygen consumption and nitrous oxide production in rivers measured at the whole-reach scale. *Freshwater Biology* 49: 1448–1458.
- Ma, S., Jiang, L., Wilson, R. M., Chanton, J. P., Brigham, S., Niu, S., Iversen, C. M., Malhotra, A., Jiang, J., Lu, X., Huang, Y., Xu, X., Ricciuto, D. M., Hanson, P. J., & Luo, Y. (2021). Evaluating alternative ebullition models for predicting peatland methane emission and its pathways via data-model fusion. *Biogeosciences Discussions, December*, 1–30.
- Maycottre M., C.C.; A. Velázquez M.; J.J. Vargas H.; A. Trinidad S.; M.A. Musálem S. y G. Vera C. 2002. Radiación fotosintéticamente activa y propiedades físico-químicas en suelos forestales con y sin incendio. *Madera y Bosques* 8(2):39-55.
- Megonigal, J. P., Hines, M. E., & Visscher, P. T. (2003). Anaerobic Metabolism: Linkages to Trace Gases and Aerobic Processes. *Treatise on Geochemistry*, 8–9, 317–424. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/08132-9>
- Pärn, J., Soosaar, K., Schindler, T., Machacova, K., Alegría Muñoz, W., Fachín, L., . . . Mander, Ü. (2021). High greenhouse gas fluxes from peatlands under various

disturbances in the Peruvian Amazon. *Biogeosciences*. Obtenido de <https://doi.org/10.5194/bg-2021-46>, in review, 2021

Rejmánková, E., & Houdková, K. (2006). Wetland plant decomposition under different nutrient conditions: What is more important, litter quality or site quality? *Biogeochemistry*, *80*(3), 245–262. <https://doi.org/10.1007/s10533-006-9021-y>

Roucoux, K. H., Lawson, I. T., Baker, T. R., Del Castillo Torres, D., Draper, F. C., Lähteenoja, O., . . . Vriesendorp, C. F. (2017). Amenazas a las turberas tropicales intactas y oportunidades para su conservación. *Biología de la conservación*. *Biología de la conservación*, 1283-1292.

Saldaña-munive, J. A., Ruiz-suárez, L. G., & Ticante-roldán, J. A. (2014). *Emisiones de oxido nitroso en suelos con diferente cobertura vegetal en Coatzacoalcos , Veracruz, México*. November, 15.

Smith, K. A., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K. E., Massheder, J., & Rey, A. (2018). Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science*, *69*(1), 10–20. <https://doi.org/10.1111/ejss.12539>

Soosaar, K., Schindler, T., Machacova, K., Pärn, J., Fachín-Malaverri, L. M., Rengifo-Marin, J. E., Alegría-Muñoz, W., Jibaja-Aspajo, J. L., Negron-Juarez, R., Zárate-Gómez, R., Garay-Dinis, D. J., Arista-Oversluijs, A. G., Tello-Espinoza, R., Pacheco-Gómez, T., & Mander, Ü. (2022). High Methane Emission From Palm Stems and Nitrous Oxide Emission From the Soil in a Peruvian Amazon Peat Swamp Forest. *Frontiers in Forests and Global Change*, *5*(March), 1–10.

<https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.849186>

Soosaar , K., Mander, U., Maddison , M., Kanal , A., & Kull , A. (2011). Dynamics of gaseous nitrogen and carbon fluxes in riparian alder forests. *Ecological Engineering*, 37(1): 40-53.

Subbarao, G., Ito, O., Sahrawat, K., Berry, W., Nakahara, K., Ishikawa, T., Watanabe, T., Suenaga, K., Rondon, M., & Rao, I. (2006). Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems - Challenges and opportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(4), 303–335.  
<https://doi.org/10.1080/07352680600794232>

Tauchnitz, N., Brumme, R., Bernsdorf, S., & Meissner, R. (2008). Nitrous oxide and methane fluxes of a pristine slope mire in the German National Park Harz Mountains. *Plant and Soil*, 303(1–2), 131–138. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9493-0>

Teh, Y. A., Berrio, J. C., Boom, A., Murphy, W., & Page, S. E. (2017). Seasonal variability in methane and nitrous oxide fluxes from tropical peatlands in the Western Amazon basin. *Biogeosciences*, 14, 3669–3683.  
[doi:https://doi.org/10.5194/bg-14-3669-2017-corrigendum](https://doi.org/10.5194/bg-14-3669-2017-corrigendum)

Tong, C., Huang, J. F., Hu, Z. Q., & Jin, Y. F. (2013). Diurnal Variations of Carbon Dioxide, Methane, and Nitrous Oxide Vertical Fluxes in a Subtropical Estuarine Marsh on Neap and Spring Tide Days. *Estuaries and Coasts*, 36(3), 633–642.  
<https://doi.org/10.1007/s12237-013-9596-1>

Torres-Alvarado, R., Ramírez-Vives, F., Fernández, F. J., & Barriga-Sosa, e I. (2005).

Methanogenesis and methane oxidation in wetlands . Implications in the global carbon cycle Metanogénesis y metano-oxidación en humedales . Implicaciones en el ciclo del carbono global. *Hidrobiológica*, 15(3), 327–349. [http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/578/57815310/57815310\\_2.html](http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/578/57815310/57815310_2.html)

Tsubo, M., & Walker, S. (2005). Relationships between photosynthetically active radiation and clearness index at Bloemfontein. *Theoret. appl. Climatol.*, 80(1):17-25.

Verville, J.H., S.E. Hobbie, F.S. Chapin, and D.U. Hooper. 1998. Response of tundra CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> flux to manipulation of temperature and vegetation. *Biogeochemistry* 41: 215–235.

Xu, X., Fu, G., Zou, X., Ge, C., & Zhao, Y. (2017). Diurnal variations of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide fluxes from invasive *Spartina alterniflora* dominated coastal wetland in northern Jiangsu Province. *Acta Oceanologica Sinica*, 36(4), 105–113. <https://doi.org/10.1007/s13131-017-1015-1>

## **ANEXOS**

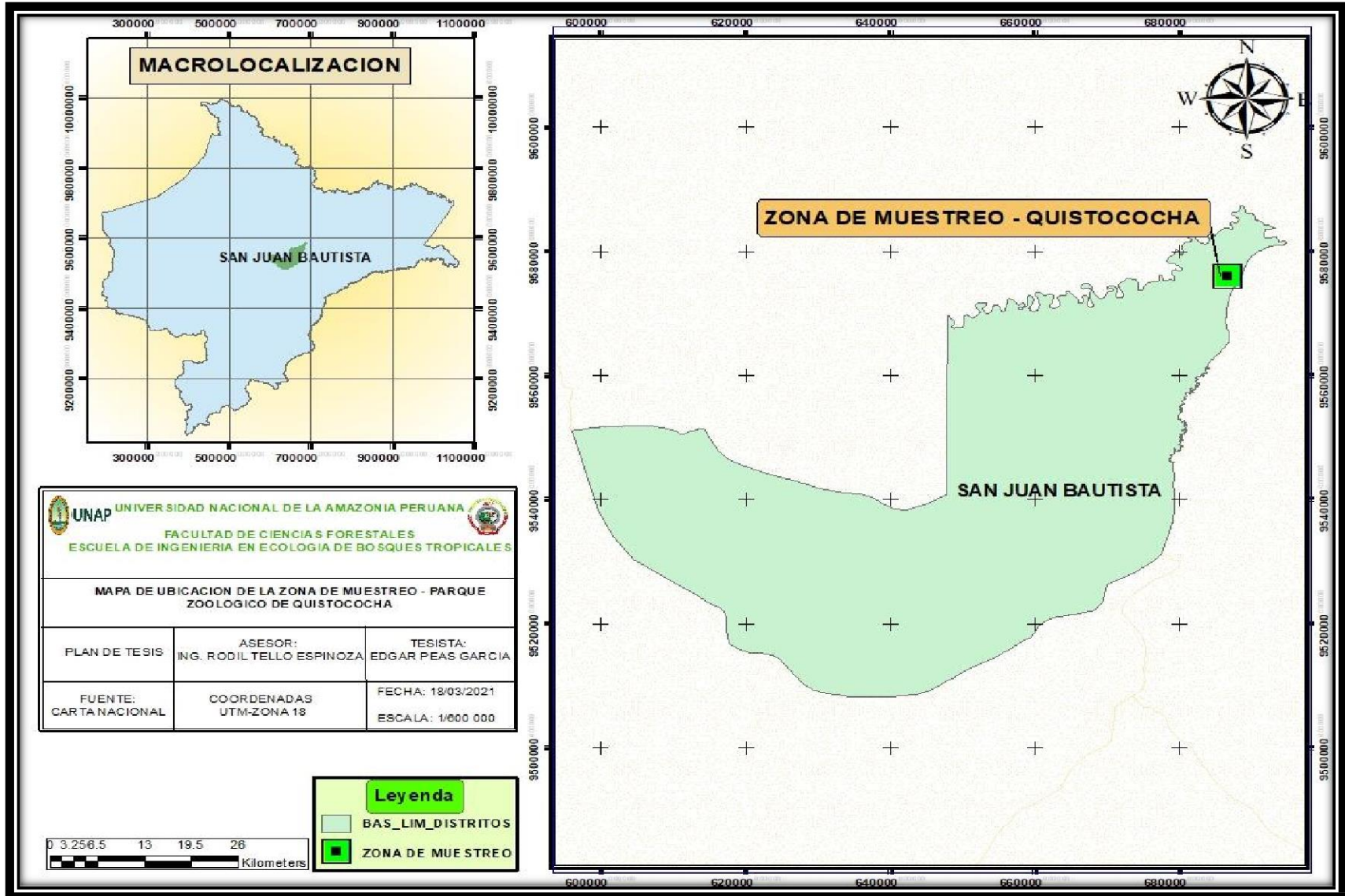


Figura 15. Mapa de ubicación de la turbera Quistococha





Figura 16. Lago del parque zoológico de Quistococha y su vegetación frondosa.

Figura 17. Dosel del bosque de Quistococha y su vegetación predominante de la especie *mauritia flexuosa*.



Figura 18. Codificación de los frascos para el muestreo de los gases de  $CH_4$  y  $N_2O$ .





Figura 19. Coordinación para el inicio de muestreo de los gases.

Figura 20. En proceso de muestreo de los gases, con las cámaras cónicas colocados en los collares instalados en horas del día.



Figura 21. Muestreo de los gases en un vial de 50 ml, en horas de la noche.





Figura 22. Organización de los viales durante el proceso de muestreo en horas de la noche.

Figura 23. Muestreo de los gases con su respectivo registro y control del tiempo.



Figura 24. Registro de los datos de las variables ambientales.



Anexo 1. Estadística complementaria

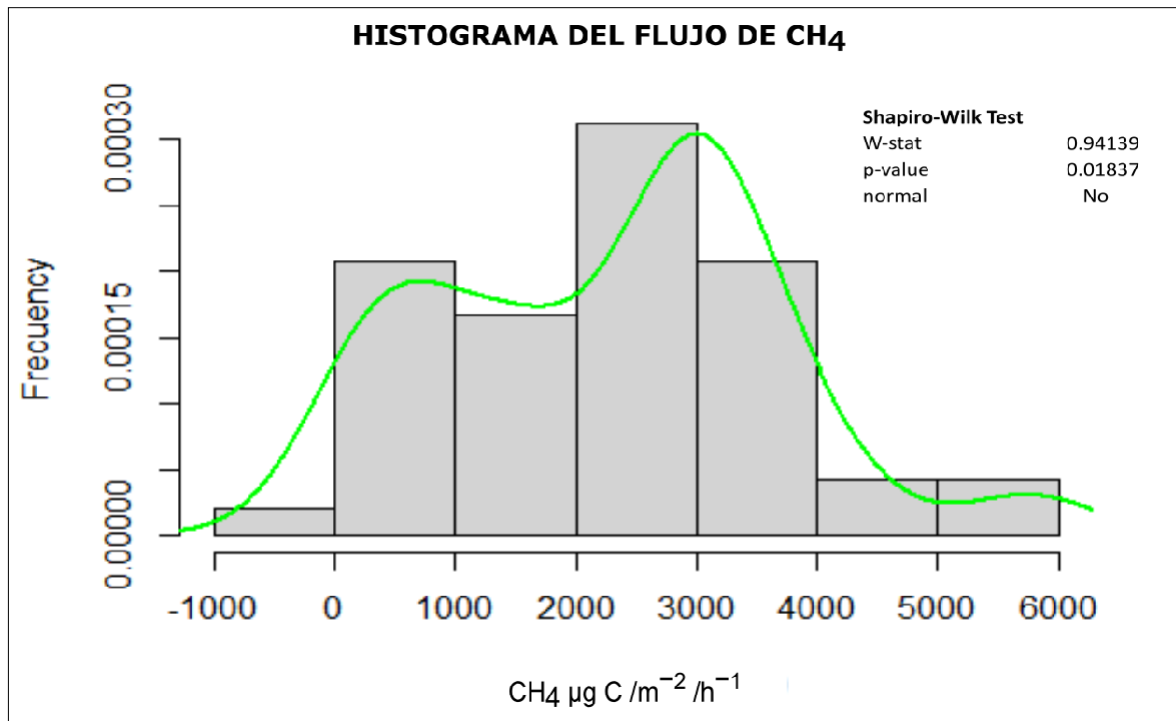


Figura 25. Test de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos de CH<sub>4</sub>

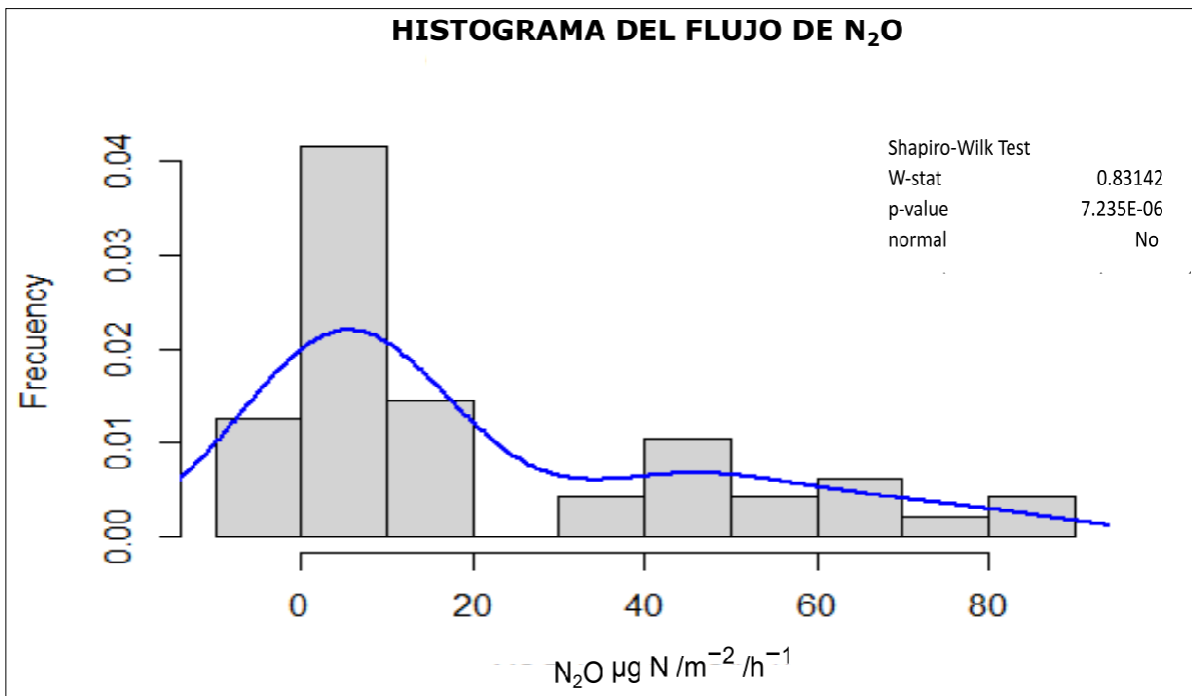


Figura 26. Test de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos de N<sub>2</sub>O

## **Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos**

## Anexo 2.1. Protocolo de muestreo de los gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en el suelo

### **Protocolo de muestreo de los gases de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en el suelo.**

#### **Antes del muestreo**

- Instale los collares de PVC de 0.5 m de diámetro y 0.1 m de profundidad en el suelo. Inmediatamente después de la instalación, verifique que el borde inferior del collar esté completamente hundido en el suelo. ¡Observe que la ranura está completamente cubierta de agua!
- Permita un período de estabilización de 24 h antes del muestreo de gas para reducir el efecto de perturbación en los flujos al insertar los collares.

#### **Cómo probar**

- ¡Llena las ranuras con agua!
- ¡No derrame agua para evitar el cambio de humedad del suelo dentro del collar!
- ¡Coloque cámaras en las ranuras!
- ¡Compruebe si el borde inferior de la cámara está cubierto de agua!
- ¡Si la ranura está llena de agua, pero el borde inferior de la cámara no está cubierto de agua, gire la cámara para obtener un espacio mínimo entre el borde y el agua! ¡No ajuste el collar! ¡Anote las cámaras potencialmente defectuosas y la falla potencial!
- ¡Inserte un tubo de admisión azul en el tabique de goma en la parte superior de la cámara!
- ¡Fije herméticamente una botella de vidrio de 50 ml evacuada al sistema de jeringas!
- ¡Fije herméticamente el sistema de jeringas a la válvula de plástico en el extremo superior de la tubería azul!
- ¡Gire la válvula de plástico para abrirla y enjuague el sistema (10 ml) con gas del espacio superior de la cámara una vez!
- ¡Muestra de gas desde el espacio superior de la cámara hacia la botella al comienzo del muestreo (muestra 0)!
- ¡Espere el silbido del gas que llena el vacío en la botella!
- Si no escucha el sonido, reemplace la botella y tome una muestra nueva para estar seguro.
- ¡La muestra no debe contener vapor de agua ni gotas visibles! Si la botella contiene agua después del muestreo, detenga la sesión de muestreo, retire las cámaras, deje secar el sistema de jeringas, los tubos de admisión azules y las botellas sin muestrear, ¡y comience a tomar muestras en clima seco!
- ¡Anote la hora de inicio en cada cámara!
- Muestra de gas del espacio superior de la cámara en un vaso de 50 ml evacuado cada 20 minutos durante una sesión de 1 hora.
- En consecuencia, los tiempos de muestreo son 0, 20, 40 y 60 minutos.
- Si se desvía de 20, 40 o 60 minutos, anote el tiempo de muestreo real.
- Usando un marcador permanente, etiquete la botella con el código del sitio: ¡número del collar ordenado (1–3), según el número de cámaras de muestreo instalados en el área de muestreo; como está marcado en el área, fecha y hora dentro de un minuto de precisión!

#### **Después del muestreo**

- Usted es libre de ajustar los collares o moverlos a otro sitio.

Anexo 2.2. Tabla de datos de los flujos de gases de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de las turberas de Quistococha de la primera campaña

Uurimisala	Kambri	Ohu temp laboris	CH4-C (µg C m-2 h-1)	N2O-N (µg N m-2 h-1)	V [m³]	T [K]	Media CH4 (µg C m-2 h-1)	Mediana CH4 (µg C m-2 h-1)	Media N2O (µg N m-2 h-1)	Mediana N2O (µg N m-2 h-1)
PE 1A 11:30	1_l	20	2452.66	41.589	0.0655	293.15				
PE 2A 11:30	2	20	1343.29	6.189	0.0655	293.15				
PE 3A 11:30	3	20	3153.06	85.085	0.0655	293.15	2316.34	2452.66	44.288	41.589
PE 4A 14:30	4	20	2948.97	46.963	0.0655	293.15				
PE 5A 14:30	5	20	2208.80	0.710	0.0655	293.15				
PE 6A 14:30	6	20	3721.02	65.442	0.0655	293.15	2959.60	2948.97	37.705	46.963
PE 7A 17:30	7	20	2893.88	50.574	0.0655	293.15				
PE 8A 17:30	8	20	1381.44	2.525	0.0655	293.15				
PE 9A 17:30	9	20	3430.08	83.633	0.0655	293.15	2568.47	2893.882	45.577	50.574
PE 10A 20:30	10	20	2938.49	33.118	0.0655	293.15				
PE 11A 20:30	11	20	1344.95	3.917	0.0655	293.15				
PE 12A 20:30	12	20	2080.77	44.653	0.0655	293.15	2121.40	2080.77	27.230	33.118
PE 1E 23:30	13	20	1883.56	19.967	0.0655	293.15				
PE 2E 23:30	14	20	1442.35	1.394	0.0655	293.15				
PE 3E 23:30	15	20	3222.00	72.614	0.0655	293.15	2182.63	1883.56	31.325	19.967
PE 4E 02:30	16	20	2003.77	41.123	0.0655	293.15				
PE 5E 02:30	17	20	1341.63	7.871	0.0655	293.15				
PE 6E 02:30	18	20	2952.52	63.508	0.0655	293.15	2099.31	2003.77	37.500	41.123
PE 7E 05:30	19	20	3072.08	38.577	0.0655	293.15				
PE 8E 05:30	20	20	1313.14	14.355	0.0655	293.15				
PE 9E 05:30	21	20	3278.62	65.122	0.0655	293.15	2554.61	3072.08	39.351	38.577
PE 10E 08:30	22	20	2944.80	49.021	0.0655	293.15				
PE 11E 08:30	23	20	1336.75	4.446	0.0655	293.15				
PE 12E 08:30	24	20	3101.26	52.117	0.0655	293.15	2460.94	2944.80	35.195	49.021

Fuente: Datos de campo

Anexo 2.3. Tabla de datos de los flujos de gases de CH4 y N2O de las turberas de Quistococha de la segunda campaña

Uurimisala	Kambri	Øhu temp laboris	CH4-C (µg C m-2 h-1)	N2O-N (µg N m-2 h-1)	V [m³]	T [K]	Media CH4 (µg C m-2 h-1)	Mediana CH4 (µg C m-2 h-1)	Media N2O (µg N m-2 h-1)	Mediana N2O (µg N m-2 h-1)
PES2 1A 12:36	25_II	20	4100.998	0.367	0.0655	293.15				
PEP2 2A 12:37	26	20	405.245	5.796	0.0655	293.15				
PES3 3A 12:38	27	20	501.842	-0.435	0.0655	293.15	1669.362	501.842	1.909	0.367
PES2 4A 15:36	28	20	5798.468	-0.016	0.0655	293.15				
PEP2 5A 15:36	29	20	408.773	4.980	0.0655	293.15				
PES3 6A 15:37	30	20	2994.132	1.092	0.0655	293.15	3067.125	2994.132	2.019	1.092
PES2 7A 18:30	31	20	303.290	5.928	0.0655	293.15				
PEP2 8A 18:30	32	20	586.309	2.275	0.0655	293.15				
PES3 9A 18:31	33	20	-113.990	2.589	0.0655	293.15	258.536	303.290	3.597	2.589
PES2 10A 21:30	34	20	3666.875	-0.650	0.0655	293.15				
PEP2 11A 21:30	35	20	532.813	5.013	0.0655	293.15				
PES3 12A 21:31	36	20	2915.480	5.023	0.0655	293.15	2371.723	2915.480	3.129	5.013
PES2 1E 00:30	37	20	4197.030	-3.789	0.0655	293.15				
PEP2 2E 00:31	38	20	456.909	6.351	0.0655	293.15				
PES3 3E 00:32	39	20	3788.936	0.740	0.0655	293.15	2814.292	3788.936	1.101	0.740
PES2 4E 03:30	40	20	2792.092	7.021	0.0655	293.15				
PEP2 5E 03:31	41	20	364.615	0.769	0.0655	293.15				
PES3 6E 03:32	42	20	2860.664	7.440	0.0655	293.15	2005.790	2792.092	5.077	7.021
PES2 7E 06:30	43	20	2667.310	4.979	0.0655	293.15				
PEP2 8E 06:31	44	20	213.325	1.494	0.0655	293.15				
PES3 9E 06:32	45	20	2857.498	10.983	0.0655	293.15	1912.711	2667.310	5.819	4.979
PES2 10E 09:30	46	20	5734.771	1.727	0.0655	293.15				
PEP2 11E 09:31	47	20	497.176	-6.374	0.0655	293.15				
PES3 12E 09:32	48	20	3176.802	-0.328	0.0655	293.15	3136.250	3176.802	-1.658	-0.328

Fuente: Datos de campo





Anexo 2.5. Formato de laboratorio de análisis físico-químico de las muestras de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O

<b>CAMPAÑA (NUMERO)</b>					
<b>Responsable: Edgar</b>					
<b>Lugar: Quistococha</b>					
<b>TIPO DE MUESTREO: Flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O</b>					
Fecha	Area	N° Camara	T° Laboratorio °C	CH <sub>4</sub> -C (µg C m-2 h-1)	N <sub>2</sub> O-N (µg N m-2 h-1)
6/02/2020	PE 1A 11:30	1_I	20		
6/02/2020	PE 2A 11:30	2	20		
6/02/2020	PE 3A 11:30	3	20		
6/02/2020	PE 4A 14:30	4	20		
6/02/2020	PE 5A 14:30	5	20		
6/02/2020	PE 6A 14:30	6	20		
6/02/2020	PE 7A 17:30	7	20		
6/02/2020	PE 8A 17:30	8	20		
6/02/2020	PE 9A 17:30	9	20		
6/02/2020	PE 10A 20:30	10	20		
6/02/2020	PE 11A 20:30	11	20		
6/02/2020	PE 12A 20:30	12	20		
6/02/2020	PE 1E 23:30	13	20		
6/02/2020	PE 2E 23:30	14	20		
6/02/2020	PE 3E 23:30	15	20		
7/02/2020	PE 4E 02:30	16	20		
7/02/2020	PE 5E 02:30	17	20		
7/02/2020	PE 6E 02:30	18	20		
7/02/2020	PE 7E 05:30	19	20		
7/02/2020	PE 8E 05:30	20	20		
7/02/2020	PE 9E 05:30	21	20		
7/02/2020	PE 10E 08:30	22	20		
7/02/2020	PE 11E 08:30	23	20		
7/02/2020	PE 12E 08:30	24	20		
4/03/2020	PES2 1A 12:36	25_II	20		
4/03/2020	PEP2 2A 12:37	26	20		
4/03/2020	PES3 3A 12:38	27	20		
4/03/2020	PES2 4A 15:36	28	20		
4/03/2020	PEP2 5A 15:36	29	20		
4/03/2020	PES3 6A 15:37	30	20		
4/03/2020	PES2 7A 18:30	31	20		
4/03/2020	PEP2 8A 18:30	32	20		
4/03/2020	PES3 9A 18:31	33	20		
4/03/2020	PES2 10A 21:30	34	20		
4/03/2020	PEP2 11A 21:30	35	20		
4/03/2020	PES3 12A 21:31	36	20		
5/03/2020	PES2 1E 00:30	37	20		
5/03/2020	PEP2 2E 00:31	38	20		
5/03/2020	PES3 3E 00:32	39	20		
5/03/2020	PES2 4E 03:30	40	20		
5/03/2020	PEP2 5E 03:31	41	20		
5/03/2020	PES3 6E 03:32	42	20		
5/03/2020	PES2 7E 06:30	43	20		
5/03/2020	PEP2 8E 06:31	44	20		
5/03/2020	PES3 9E 06:32	45	20		
5/03/2020	PES2 10E 09:30	46	20		
5/03/2020	PEP2 11E 09:31	47	20		
5/03/2020	PES3 12E 09:32	48	20		



Anexo 2.7. Sistema de codificación de las muestras de gases

CODING SYSTEM													
		11:30am			2			17:30pm			4		
		1			14:30pm			3			20:30pm		
T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	A	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A
20	B	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	10B	11B	12B
40	C	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	10C	11C	12C
60	D	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D	11D	12D
0	E	1E	2E	3E	4E	5E	6E	7E	8E	9E	10E	11E	12E
20	F	1F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	8F	9F	10F	11F	12F
40	G	1G	2G	3G	4G	5G	6G	7G	8G	9G	10G	11G	12G
60	H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H
		23:30pm			6			5:30am			8		
		5			2:30am			7			8:30am		

Anexo 2.8. Sistema de localización por tiempo de las muestras de gases

TIME LOCATION SYSTEM OF SAMPLES													
		11:30am			14:30pm			17:30pm			20:30pm		
		1			2			3			4		
T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	A	11:30am			14:30pm			17:30pm			20:30pm		
20	B	11:50am			14:50pm			17:50pm			20:50pm		
40	C	12:10pm			15:10pm			18:10pm			21:10pm		
60	D	12:30pm			15:30pm			18:30pm			21:30pm		
0	E	23:30pm			2:30am			5:30am			8:30am		
20	F	23:50pm			2:50am			5:50am			8:50am		
40	G	00:10am			3:10am			6:10am			9:10am		
60	H	00:30am			3:30am			6:30am			9:30am		
		5			6			7			8		
		23:30pm			2:30am			5:30am			8:30am		