



UNAP

**Facultad de
Ciencias Forestales**

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE ING. EN ECOLOGÍA DE
BOSQUES TROPICALES

TESIS

**“Efecto de la geoquímica de los suelos y la densidad de madera sobre el
flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en tres turberas de la Amazonía
peruana, 2018”**

Tesis para optar el título de Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales

Autora

TIFFANY CARLY RODRIGUEZ LOPEZ

Iquitos - Perú

2019



UNAP

Facultad de
Ciencias Forestales

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DE TESIS Nº 856

Los miembros del Jurado que suscriben, reunidos para evaluar la sustentación de tesis presentada por la bachiller TIFFANY CARLY RODRÍGUEZ LÓPEZ, titulada: "EFECTO DE LA GEOQUÍMICA DE LOS SUELOS Y LA DENSIDAD DE MADERA SOBRE EL FLUJO DE CO₂ POR LOS FUSTES DE LOS ÁRBOLES EN TRES TURBERAS DE LA AMAZONIA PERUANA, 2018", formuladas las observaciones y analizadas las respuestas,

La declaramos:

Aprobado

Con el calificativo de:

Muy Bueno

En consecuencia queda en condición de ser calificada:

Apta

Y, recibir el Título de Ingeniera en Ecología de Bosques Tropicales.

Iquitos, 20 de noviembre 2018


Ing. RODIL TELLO ESPINOZA, Dr.
Presidente


Ing. RONALD BURGA ALVARADO, Dr.
Miembro

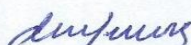

Ing. ABRAHAM CABUDIVO MOENA, Dr.
Miembro


Ing. JOSÉ DAVID URQUIZA MUÑOZ, M.Sc.
Asesor

Conservar los bosques beneficia a la humanidad ¡NO lo destruyas!
Ciudad Universitaria "Duarte Almendra" San Juan, Tumbes-Perú

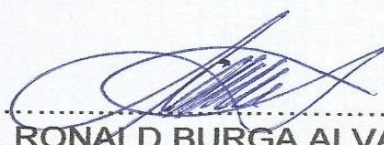
“Efecto de la geoquímica de los suelos y la densidad de madera sobre el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en tres turberas de la Amazonía peruana, 2018”

MIEMBROS DEL JURADO



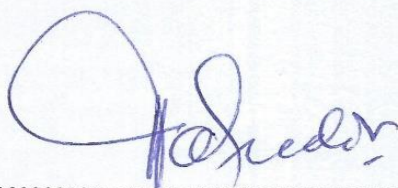
.....
ING. RODIL TELLO ESPINOZA, Dr.
Presidente

REGISTRO CIP N° 34967



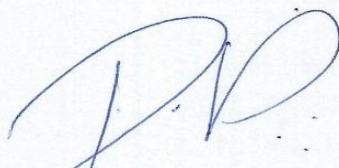
.....
Ing. RONALD BURGA ALVARADO, Dr.
Miembro

REGISTRO CIP N° 45725



.....
Ing. ABRAHAN CABUDIVO MOENA, Dr.
Miembro

REGISTRO CIP N° 40295



.....
ING. JOSÉ DAVID URQUIZA MUÑOZ, M.Sc.
Asesor

REGISTRO CIP N° 181468

DEDICATORIA

Este presente trabajo, dedico a Dios por guiarme, protegerme, por darme la salud y las fuerzas necesarias para culminar con mi carrera profesional.

A mi abuela, a mis padres, mi novio y hermanos, y familia en general, por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida.

A muchos jóvenes investigadores, por poseer las ganas de hacer ciencia e investigación continuando la magia de la imaginación y el don del conocimiento, porque la ciencia es continua, discutida y sobre todo trabajo de muchos investigadores a través de tiempo

AGRADECIMIENTO

Principalmente, quiero agradecer a DIOS, Porque sin el amor, la sabiduría, la salud, el discernimiento y sobre todo la fe que Él me concede nada de esto pudiera haber sido posible.

Al proyecto Internacional de la Universidad Estatal de Arizona, porque gracias a este proyecto he podido contar con financiamiento y sobre todo con los conocimientos adquiridos durante el tiempo de voluntariado.

A la Doc. Outi Lähteenoja, Hínsby Cadillo Quiroz y al profesor Joost van por la paciencia y dedicación al transmitirme sus conocimientos vinculados al proyecto

A mi colaborador y ayudante Paul Marcial Vizcarra Rivera por apoyarme en todo momento en la ejecución de este proyecto

CONTENIDO

	Pág
CONTENIDO.....	i
LISTA DE CUADROS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PROBLEMA.....	3
2.1. Descripción del problema	3
2.2. Definición del problema.....	3
III. HIPOTESIS	4
3.1. Hipótesis general.....	4
3.2. Hipótesis alterna	4
3.3. Hipótesis nula.....	4
IV. OBJETIVOS	5
4.1. Objetivo general.....	5
4.2. Objetivo específico.....	5
V. VARIABLES	6
5.1. Identificación de variables	6
5.2. Operacionalización de variables.....	6
VI. REVISION DE LITERATURA	7
6.1. Antecedentes	7
6.1.1. Estudios anteriores de las turberas amazónicas.....	7
6.1.2. Acuerdos Internacionales referentes a las turberas.....	7
6.1.3. Clasificación de las turberas evaluadas según el contenido de nutrientes en el suelo.....	8
6.1.4. Impacto antropológico en las turberas	9
6.2. Marco teórico	12

6.1.4. ¿Qué son las turberas?	12
6.1.5. Extensión de las turberas en el mundo.....	12
6.1.6. Estructura de una turbera.....	13
6.1.7. Importancia de las turberas	13
6.1.8. El ciclo de carbono en las turberas.....	14
6.1.9. Variables que determinan el stock y el flujo de del ciclo del carbono.....	15
6.1.10. Contenido y origen de los nutrientes en las turberas.....	15
6.1.11. Densidad de madera.....	16
6.1.12. Flujo de CO ₂ de fustes de los árboles.....	16
VII. MARCO CONCEPTUAL	19
VIII. MATERIALES Y MÉTODO.....	21
8.1. Lugar de ejecución	21
8.2. Accesibilidad.....	22
8.3. Caracterización del área de estudio	23
8.3.1. Clima	23
8.3.2. Fisiografía.....	24
8.3.3. Geología	24
8.3.4. Suelos	24
8.3.5. Vegetación.....	25
8.3.6. Topografía	25
8.3.7. Hidrografía	25
8.3.8. Zonas de vida.....	26
8.4. Materiales y equipos	26
8.5. Método	27
8.5.1. Tipo y nivel de investigación	27
8.5.2. Población y muestra.....	27
8.5.3. Análisis estadístico	28

8.6.	Procedimiento.....	28
8.6.1.	Trabajo de campo.....	31
8.6.2.	Trabajo de gabinete.....	33
8.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	40
8.8.	Técnicas de representación de resultados	41
IX.	RESULTADOS	42
9.1.	Test de Normalidad.....	42
9.1.1.	Flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles en las 6 parcelas estudiadas.....	43
9.1.2.	Flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles en las turberas de Buena vista, Quistococha y San Jorge.....	44
9.2.	Comparación del Flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles en relación a la geoquímica de los suelos en las turberas estudiadas.....	47
9.3.	Relación de la densidad de madera de las especies y el flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles	49
9.4.	Variación significativa del flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles en las seis parcelas.....	52
9.5.	Relación del flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles entre las especies.....	52
X.	DISCUSIÓN	55
XI.	CONCLUSIÓN.....	59
XII.	RECOMENDACIÓN	61
XIII.	BIBLIOGRAFIA.....	63
XIV.	ANEXO	70

LISTA DE CUADROS

N°		Pág.
cuadro 1.	Operacionalización de variables dependientes e independientes	6
cuadro 2.	Identificación de la población y muestra de la evaluación.....	27
cuadro 3.	Nutrientes esenciales de las tres turberas estudiadas	38
cuadro 4.	Promedio del flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles parcela.....	43
cuadro 5.	Promedio del flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles por turbera	44
cuadro 6.	Promedio del flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles más la densidad de madera por especie	50
cuadro 7.	Valores de significancia, entre parcelas, conforme al test de T-Pairwise	52
cuadro 8.	Mayor y menor flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles en relación a la especie en las turberas evaluadas	53

LISTA DE FIGURAS

N°		pág.
Figura 1.	Distribución de las dos parcelas de las turberas de Buena vista.....	30
Figura 2.	Distribución de las dos parcelas de las turberas de Quistococha.....	30
Figura 3.	Distribución de las dos parcelas de las turberas de San Jorge.....	30
Figura 4.	Muestra la línea de tendencia ecuaciones y R cuadrado en el grafico.....	35
Figura 5.	Test de Sahpiro-Wilks.....	42
Figura 6.	Variación del flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles en las 6 parcelas estudiadas.....	45
Figura 7.	Promedio del flujo de co ₂ por los fustes de los árboles en las turberas.....	46
Figura 8.	Tendencia mediante una relación indirecta de forma lineal creciente, de menor a mayor escala, entre la geoquímica de los suelos y el flujo de CO ₂ por los fustes	48
Figura 9.	Relación entre la densidad de madera y el flujo de CO ₂ a nivel de especie.....	51
Figura 10.	Muestra todas las especies evaluadas de las 3 turberas, resaltando las especies con mayor flujo de CO ₂ por los fustes de los árboles.....	54
Figura 11	Mapa de ubicación de las turberas estudiadas	70

Figura 12.	Ubicación de las parcelas de Buena vista.....	71
Figura 13.	Ubicación de las parcelas de Quistococha.....	72
Figura 14.	Ubicación de las parcelas de San Jorge.....	73
Figura 15.	Lago de Quistococha y su abundante vegetación.....	74
Figura 16.	Dosel del bosque de Quistococha, especie que más abunda es la <i>Mauritia flexuosa</i>	74
Figura 17.	Lo difícil de caminar en un bosque de turberas.....	74
Figura 18.	La turbera de Quistococha cuando se inunda por las lluvias.....	75
Figura 19.	Turbera de Buena Vista, árbol del renaco, predominante en este bosque.....	75
Figura 20.	Las cámaras de evaluación para medir el flujo de CO ₂ en los fustes de los árboles en parcelas permanentes.....	76
Figura 21.	Programando al equipo Gas Hound Li-800, para medir el flujo de CO ₂ por los fustes de árboles.....	76
Figura 22.	Horizontes de una turbera.....	77
Figura 23.	Diagrama de los stock y flujos de carbono en un bosque tropical que podría estar estacionalmente inundado.....	77

RESUMEN

El efecto de la geoquímica de los suelos y la densidad de madera sobre el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en tres turberas de la Amazonía peruana es importante para el ciclo global de carbono, especialmente en ecosistemas de turberas; porque, estas almacenan grandes cantidades de carbono en el suelo. El flujo de CO₂ está condicionado por variables externas como la precipitación, temperatura, geoquímica del suelo, entre otros. El objetivo principal del proyecto es determinar el efecto de la geoquímica de los suelos y la densidad de madera sobre el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en tres turberas de la Amazonía peruana; donde, utilizamos la metodología de RAINFOR-GEM 2014, herramienta que se utiliza para el monitoreo de carbono en parcelas permanentes. Se conoce que la geoquímica de la turbera de Buena Vista, Quistococha y San Jorge, están definidas como rica, intermedia y pobre respectivamente, presentando una relación indirecta; donde, a mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo, mayor flujo de CO₂ por los fustes de los árboles. Para realizar la progresión lineal promediamos los valores de flujo de CO₂ a nivel de especie, para relacionarlo con la densidad de madera que se presentan de esta manera, obteniendo como resultado que estas dos variables no están relacionadas significativamente, por el resultado de 0,18 del test de Spearman, contradiciendo a la hipótesis. La especie *Macrobium huberianum*, con 184,662 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ presenta el mayor flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las turberas.

Palabras clave: Flujo de CO₂, geoquímica de los suelos, densidad de madera, fustes, turberas.

I. INTRODUCCIÓN

Las turberas representan el 3% de la superficie terrestre del planeta (Iturraspe, 2010). Sin embargo, este tipo de bosque juega un papel importante en el balance local, regional y global de los gases de efecto invernadero, conocidos como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), (Joosten & Couwenberg, 2008). Las turberas son clasificadas como humedales, pero cabe mencionar, que no todos los humedales son clasificados como turberas. Los humedales son ambientes muy diversos con áreas inundadas o saturadas por aguas superficiales o subterráneas bajo condiciones normales. Las turberas son humedales más específicos con capas de turba compuestas de material vegetal parcialmente descompuesta, que progresivamente están acumulando en condiciones anaeróbicas (Ramsar, 1971).

Las turberas podrían cubrir un área importante en la selva amazónica (Lähteenoja *et al.*, 2009a). Este proyecto evaluó tres turberas amazónicas ubicadas en distintos lugares de la región de Loreto. En la turbera de Quistococha, sus bosques están siendo afectados por la tumba de árboles de aguaje, para la extracción de sus frutos, provocando una alteración en el ecosistema a menor escala. Las dos restantes, San Jorge y Buena Vista, también están siendo afectadas por la deforestación, pero no en gran magnitud. Entonces, ¿cómo poder ver el valor de estos bosques? ¿será importante su conservación? la forma de poder contestar estas preguntas es teniendo pruebas de la importancia de las turberas en el balance global del carbono, porque actúa como fuente o sumidero de CO_2 .

Este proyecto tiene como finalidad la evaluación de un componente esencial en el equilibrio de carbono de un bosque, y determinar si la geoquímica de los suelos y

la densidad de madera afecta o influyen en el flujo de CO₂ de los fustes de los árboles en tres turberas amazónicas. Donde, Porlles (2011), menciona que los suelos con mayor materia orgánica; es decir, ricos en nutrientes, emiten mayor carbono y el CO₂ del fuste podría ser tomado por las raíces y luego transportados hacia arriba (Vapaavuori & Pelkonen, 1985) y la densidad de madera es una variable de suma importancia para la evaluación de un bosque, porque nos informa la cantidad de carbono que las plantas destinan al costo de construcción; es decir, a la productividad primaria neta (Chave, 2002).

II. PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

La Amazonía representa aproximadamente la mitad de la superficie mundial de bosques tropicales, jugando un papel importante en el ciclo global del carbono a través de la fijación, la respiración y la circulación del carbono (Malhi *et al.*, 2013). Los principales reservorios de carbono se encuentran en ecosistemas de turberas, que podrían cubrir un área significativa dentro de la selva amazónica (Lähteenoja *et al.*, 2009a, 2012), actuando como sumideros de carbono. Esta principal función de las turberas le da la importancia de estudiarlas para su valoración y conservación de estos bosques. Para determinar el flujo y la productividad de un ecosistema de turbera se debe considerar las características generales de la turbera, ubicación geográfica, factores ambientales, entre otros. Por tal motivo este proyecto determinó la relación de la geoquímica de los suelos y la densidad de madera con el flujo de CO₂ que regresa a la atmósfera por medio de los fustes, en las tres turberas de la amazonia peruana, siendo este un componente importante para el equilibrio de carbono de este ecosistema.

2.2. Definición del problema

¿El flujo de CO₂ por los fustes de los árboles es afectado por la geoquímica de los suelos y la densidad de madera en tres turberas de la Amazonía peruana?

¿El flujo de CO₂ por los fustes de los árboles varía en las 6 parcelas estudiadas?

¿Cuál es la especie que tiene mayor flujo de CO₂ por los fustes de los árboles de las tres turberas de la Amazonía peruana?

III. HIPOTESIS

3.1. Hipótesis general

- El flujo de CO₂ por los fustes de los árboles es afectado por la geoquímica de los suelos y la densidad de madera en las tres turberas de la Amazonía peruana.

3.2. Hipótesis alterna

- Existe variación significativa en el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las 6 parcelas estudiadas.
- La especie con mayor flujo de CO₂ por los fustes de los árboles es la que presenta menor densidad de madera de las tres turberas de la Amazonía peruana.

3.3. Hipótesis nula

- El flujo de CO₂ por los fustes de los árboles no es afectado por la geoquímica de los suelos y la densidad de madera en las tres turberas de la Amazonía peruana.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de la geoquímica de los suelos y la densidad de madera sobre el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en tres turberas de la Amazonía peruana, 2017.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las tres turberas evaluadas
- Comparar el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en la turbera de Buena vista, Quistococha y San Jorge con geoquímica rica, intermedia y pobre.
- Analizar y relacionar la densidad de madera de las especies con el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las turberas de Buena vista, Quistococha y San Jorge.
- Comparar y analizar la variación significativa del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las 6 parcelas estudiadas.
- Relacionar el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles entre las especies de las tres turberas de la Amazonía peruana.

V. VARIABLE

5.1. Identificación de variables, indicadores e índices

En este proyecto se lograron identificar dos tipos de variables, las variables dependientes (Flujo de CO₂) y las variables independientes (Geoquímica de los suelos, Especie y densidad de la madera).

La variable dependiente, tiene como indicador las lecturas del analizador de CO₂ de los fustes, y su índice es CO₂ mg-C/m²/hr.

Las variables independientes es la Geoquímica de los suelos, con su indicador geoquímica rica, geoquímica intermedia y geoquímica pobre. La Especie con su indicador la Identidad de la especie y la densidad de madera con sus indicadores, baja, media y alta, con su índice Kg/m³

5.2. Operacionalización de variables

Cuadro 1. Operacionalización de variables dependientes e independientes.

VARIABLE DEPENDIENTE	Indicadores	Índices
Flujo de CO ₂	Lecturas del analizador de CO ₂	CO ₂ μmol/m ² /min
VARIABLE INDEPENDIENTE	Indicadores	Índices
Geoquímica de los suelos	Geoquímica rica	g/kg (turba seca)
	Geoquímica intermedia	
	Geoquímica pobre	
Especie	Identidad de especie	Unidad
Densidad de la madera	Baja densidad de madera Media densidad	g/cm ³
	Media densidad de madera	
	Alta densidad de madera	

VI. REVISION DE LITERATURA

6.1. Antecedentes

6.1.1. Estudios anteriores de las turberas amazónicas

Se considera que la extensión de los humedales en la cuenca amazónica es considerable, pero la existencia de turberas tropicales raramente ha sido considerada (Schulman *et al.*, 1999). Sin embargo, según estudios recientes, las turberas podrían cubrir una importante área dentro de la selva amazónica (Lähteenoja *et al.*, 2009a, 2012). La presencia de turberas en la Amazonía contribuye con la diversidad de hábitats y ecosistemas (Lähteenoja *et al.*, 2009a).

Las turberas amazónicas son influenciadas anualmente por grandes variaciones del río Amazonas y sus afluentes; y también, pueden recibir nutrientes del flujo de aguas superficiales e inundaciones y del aumento capilar de elementos en poros de turba (Hill & Siegel, 1991). Estas turberas en su mayoría están ubicadas en llanuras de inundación, y son inundadas estacionalmente (Lähteenoja *et al.*, 2009a, 2009b).

6.1.2. Acuerdos internacionales referentes a las turberas

La importancia de las turberas ha ido aumentando progresivamente, teniendo un reconocimiento internacional en el Convenio Ramsar, el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Convenio sobre la Diversidad Biológica y otros acuerdos internacionales (Ramsar, 1971). El convenio Ramsar que tiene como objetivo conservar los humedales, es un tratado intergubernamental, aprobado el 2 de febrero de 1971 en la ciudad de Irán de Ramsar. Tiene como misión “la conservación y el uso racional de todos los humedales mediante acciones

locales, regionales y nacionales y la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo” (Ramsar, 1971).

6.1.3. Clasificación de las turberas evaluadas según el contenido de nutrientes en el suelo

En el estudio realizado por Lähteenoja *et al.*, (2009b), determinaron la cantidad de nutrientes en la turba, mencionando que Buena Vista es el más rico en nutrientes y la mayor diferencia que se observó fue para el contenido de calcio (Ca). En Buena Vista, el contenido de calcio (Ca) (17,40 g de Ca por cada kilogramo de turba) fue aproximadamente 10 veces mayor que en Quistococha (1,46 g Kg⁻¹) y 40 veces mayor que en San Jorge (0,37 g Kg⁻¹).

Buena Vista presentó en potasio (K) 2,13 g Kg⁻¹ de turba, en magnesio (Mg) 1,73 g Kg⁻¹ de turba y en fósforo (P) 0,39 g Kg⁻¹ de turba. Esta turbera obtiene sus nutrientes por las inundaciones periódicas del río Tahuayo y por lo tanto es minerotrófica. Esto es confirmado por las proporciones de Ca/Mg de estas turberas, que claramente superan la de las aguas pluviales globales y amazónicas (Lähteenoja *et al.*, 2009b).

La alta proporción de Ca / Mg de la turbera de Quistococha sugiere que la turbera tiene una fuente minerotrófica de Ca, pero el contenido de nutrientes de la turba de Quistococha es considerablemente menor que de Buena Vista. En consecuencia, Quistococha es probablemente una turbera minerotrófica pobre en nutrientes (Lähteenoja *et al.*, 2009b).

Con respecto al nivel del agua se conoce de Quistococha durante la sequedad los niveles de agua variaban desde un mínimo de 27 cm por debajo de la superficie de la turba hasta 9 cm por encima de la superficie. En el 2012 el sitio se vio afectado

por una inundación de 1 m de altura sobre la superficie de la turba. En la estación húmeda el nivel del agua en la turba estaba a 5 cm por debajo de la superficie y a 18 cm por encima de la superficie, si se excluye la inundación (Kelly *et al.*, 2013). La turbera de San Jorge es en forma de cúpula y se encuentra adyacente al río Amazonas, esta turbera no está sometido a inundaciones. También el Calcio (Ca) y el magnesio (Mg) en la turba es muy cercana a la del agua de lluvia, por tanto, se interpreta que es una turbera ombrotrofica. En consecuencia, el sitio es rico en nutrientes es Buena Vista, el intermedio Quistococha y el pobre es San Jorge. (Lähteenoja *et al.* 2009b).

6.1.4. Impacto antropogénico en las turberas

Los impactos antropogénicos sobre las turberas vienen desde el año 1800; por tanto, el área de turberas en el mundo se ha reducido entre 10 y 20 %. La presión antropogénica puede ser directa e indirecta. Es directa cuando se drenan estas áreas, se queman para la agricultura y silvicultura, se excavan, extrayendo la turba para cosecha no sustentable. Es indirecta cuando se trata de la contaminación atmosférica, del agua y de los suelos (Rochefort, 2000).

Un gran ejemplo de perturbaciones en las turberas son los incendios sucedidos en Indonesia, que fueron iniciados por los indígenas e inmigrantes, pero también a escalas mayores por empresas privadas y agencias gubernamentales como herramienta principal para la limpieza forestal, antes de establecer los cultivos. Estos incendios se extendieron fuera de control, durante la estación más seca “El Niño 1997” consumiendo no sólo la vegetación superficial, sino también la turba y las raíces de los árboles, formándose una densa neblina que cubrió gran parte de

Asia Sudoriental y causando un grave deterioro de la calidad del aire y problemas de salud (Page *et al.*, 2002).

Los incendios sucedidos en las turberas de Indonesia, se iniciaron de fuegos pequeños realizados para los cultivos de palma aceitera, estos han causado grandes impactos negativos a la atmósfera por el alto incremento de CO₂ afectado toda la selva de Indonesia ocasionando un problema ambiental a nivel mundial (Rante-Greenpeace, 2015).

Estos sucesos motivaron a la iniciativa mundial a proteger las turberas, en la COP22 (conferencia de las partes N° 22) en Marrakech, Marruecos. En Marrakech el 17 de noviembre de 2016, se mencionó una nueva iniciativa global, con el objetivo de reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero y proteger las turberas, que son un stock de carbono orgánico terrestre muy importante. Por tanto, es un problema mundial no proteger estos tipos de humedales, ya que las consecuencias no solo son a nivel de sectores; sino, que perjudican todo el planeta contaminando nuestra atmósfera con gases de efecto invernadero que se desprenden de la turba, provocando de esta manera el calentamiento global y como consecuencia de ello el cambio climático (Muñoz & Erias, 2017).

Las turberas están dentro de los acuerdos internacionales, el Convenio de Ramsar, Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Convenio sobre la Diversidad Biológica y otros instrumentos, donde quedarían protegidos mundialmente con alguna disposición jurídica sobre la gestión de las turberas. Pero para ello la turbera debe encontrarse casualmente dentro de un área protegida. De tal modo que existen muchas turberas que no están dentro de un marco legal para su respectiva protección (Frazier, 1971).

En Europa Central las turberas fueron drenadas en los siglos XVIII y XIX, para convertir esas áreas para agricultura. En Finlandia, a principios del siglo XX tenía 10 millones de hectáreas de turberas, drenándose luego el 60%, principalmente para el uso forestal. Las turberas de Europa ahora son pastizales, después de haber liberado toneladas de carbono y en Finlandia el CO₂ captado por las nuevas plantaciones es significativamente inferior a la cantidad emitida por las turberas drenadas que las sustentan (Iturraspe, 2010). Las turberas también han sido utilizadas para generar energía y la producción de medios de cultivo de plantas es de alrededor de 2000 km². Se utiliza la turba como medio de crecimiento crítico para las plántulas de invernadero utilizadas en muchas operaciones de replantación forestal en América del Norte. Se estima que 150 000 km² de las turberas del mundo se han drenado para la silvicultura comercial (Joosten, 2002).

6.2. Marco teórico

6.2.1. ¿Qué son las turberas?

Son humedales caracterizados por tener depósitos esponjosos de turba. Las turberas son ecosistemas que presentan una lenta descomposición de material vegetal por la carencia de oxígeno y la saturación de agua en la turba. En la parte superficial de la turba, la descomposición es más activa, porque en la estación seca las turberas no están inundadas, y la materia orgánica entra en contacto con el oxígeno realizándose una mejor descomposición. Estas turberas están dominadas por asociaciones de especies llamadas plantas hidrófilas (Iturraspe & Roig, 2000).

6.2.2. Extensión de las turberas en el mundo

Las turberas ocupan un área relativamente pequeña de la superficie terrestre (3% de las tierras emergidas), pero procesan y transfieren a la atmósfera cantidades globalmente significativas de CO₂, CH₄, H₂S (Adams *et al.*, 1981).

Las turberas son ecosistemas que contribuyen a la diversidad biológica, al ciclo hídrico mundial y al almacenamiento mundial de carbono (Ramsar, 1971). Las turberas son humedales de zonas de clima frío a frío-templado (Broder *et al.*, 2012). Pero también se pueden encontrar turberas en el trópico, desde el bosque húmedo tropical hasta las altas elevaciones en el límite superior de la vegetación (Lähteenoja *et al.*, 2012). A nivel mundial representan cerca del 50 al 70% de todos los humedales existentes. Se sabe que las turberas se encuentran en todos los continentes, en casi todos los biomas, en zonas boreales, templadas y tropicales del planeta. Usualmente se encuentra en lugares donde la precipitación es alta y la evaporación es baja, las sequías duran muy poco tiempo (Díaz *et al.*, 2005).

6.2.3. Estructura de una turbera

El comportamiento hidrológico, los procesos que regulan el ciclo de carbono y sus efectos en la mitigación y adaptación al cambio climático son los que definen la estructura de una turbera (Iturraspe, 2010). Son reconocibles dos horizontes denominados en inglés acrotelm y catotelm (Ivanov 1981; Figura 22).

El primero, es el horizonte hidrológicamente activo de carácter superficial con espesor de 0,30 a 0,50 m con condiciones aeróbicas, albergando una importante actividad microbiana, corresponde a la zona donde varía el nivel de saturación. Las fibras vegetales mantienen allí su textura, activándose la descomposición y la liberación de CO₂ cuando desciende el nivel freático. Cuando éste se aproxima a la superficie se reduce la emisión de CO₂, se incrementa la de metano. La segunda parte de la estructura, está siempre saturado, con condiciones anaeróbicas y bajísima permeabilidad (Iturraspe, 2010).

6.2.4. Importancia de las turberas

Las turberas tienen importantes funciones ecológicas, estas previenen inundaciones, condicionan las características del drenaje en las cuencas hídricas, absorben la precipitación actuando como filtradores de la escorrentía, protegiendo la calidad del agua. También proveen de hábitats para comunidades específicas de plantas y animales. Pero la principal función es regular el ciclo del carbono e hidrológico, porque secuestran el CO₂, siendo este el principal gas de efecto invernadero y como consecuencia disminuyen el cambio climático (Iturraspe, 2010). Las turberas albergan 1/3 del carbono existente en el suelo y el 10% del agua dulce disponible (Joosten, 2002). En consecuencia, estos ecosistemas tienen verdadero valor ambiental, económico y ecológico (Iturraspe, 2010).

6.2.5. Ciclo de carbono en las turberas

Es un ciclo biogeoquímico, donde el carbono se intercambia entre la atmósfera, biósfera, litósfera e hidrosfera de la tierra (Honorio & Baker, 2010). El carbono es el cuarto elemento más abundante en el universo, después del hidrogeno, helio y oxígeno.

Las plantas superiores adquieren el dióxido de carbono (CO_2) a través de las hojas y se transporta a los sitios donde se lleva a cabo la fotosíntesis. A esto se le conoce como producción primaria bruta (PPB). Cierta cantidad de este CO_2 regresa a la atmósfera y la otra se fija y se convierte en tejidos vegetales. El crecimiento anual de las plantas es el resultado de la diferencia entre el carbono fijado y el respirado, conocido como producción primaria neta (PPN) (Jaramillo, 2004).

En un bosque tropical el stock de carbono es todo aquello que se encuentra almacenado en los diferentes componentes del bosque: biomasa viva (hojas, ramas, fustes y raíces) y necromasa (hojarasca, madera muerta y materia orgánica). Mientras que el flujo es todo aquel proceso que afecta el stock de carbono (Honorio & Baker, 2010).

Cuando cuantificamos el flujo de carbono en el bosque muestreamos la fotosíntesis, la respiración autotrófica, la respiración heterotrófica de la hojarasca, madera muerta, suelo, la mortalidad de troncos, ramas, hojas, raíces y la descomposición de madera y hojarasca causada por los organismos degradadores (Honorio & Baker, 2010).

El stock de carbono se expresa en términos de peso por unidad de área (Mg/ha^{-1}). El flujo de carbono incluye la variable del tiempo y cuantifican la cantidad de carbono que entra y sale de un componente del stock de carbono en el tiempo (Mg

ha⁻¹ año⁻¹). Determinar el stock y el flujo de carbono es importante para tener idea del ciclo de carbono de un bosque (Honorio & Baker, 2010; Figura 23).

Existen dos palabras claves para entender el comportamiento de un bosque: sumidero y fuente. Sumidero es cuando el stock de carbono aumenta en el tiempo y fuente cuando la cantidad de carbono almacenado disminuye en el tiempo (Honorio & Baker, 2010). Las turberas inciden en el balance global de tres tipos de gases con efecto invernadero, ya que en su estado natural retienen CO₂ y liberan metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). El efecto negativo de las emisiones de CH₄ y N₂O es de menor importancia que el efecto positivo resultante del secuestro de CO₂ (Joosten & Couwenberg, 2008).

6.2.6. Variables que determinan el stock y flujo del ciclo de carbono

Los valores del stock y el flujo de carbono varían en la Amazonía por distintos factores, en especial por las condiciones ambientales que presenta el lugar de estudio. (Zanne *et al.*, 2009).

La fertilidad de los suelos en la Amazonía es un factor importante para el almacenamiento y procesamiento del carbono, la geología también es un factor; por ejemplo, existe un gran contraste entre el Este Amazónico (Guyana y Brasil) que geológicamente es más antiguo y pobre en nutrientes con la parte del Oeste (Ecuador, Colombia, Perú, Bolivia) que son los depósitos de los Andes y son más recientes (Zanne *et al.*, 2009).

6.2.7. Contenido y origen de los nutrientes en las turberas

Los ecosistemas de turberas se pueden diferenciar en minerotrófica y ombrotrófica. Las turberas minerotrófica generalmente se sitúan en depresiones con superficies planas o cóncavas (Roig & Roig, 2004) y son cubiertos periódicamente por agua de

inundación rica en nutrientes y/o reciben nutrientes de las aguas superficiales o subterráneas con aumento capilar (Lahteenoja *et al.*, 2009b). Las turberas ombrotáficas se encuentran en su mayoría sobre elevadas respecto del terreno circundante formando domos. Su alimentación proviene exclusivamente de agua de lluvia, sin que se manifiesten aportes de agua subterránea o superficial (Iturraspe, 2010).

Las turberas ombrotáficas son pobres en nutrientes y reciben los nutrientes sólo de la deposición atmosférica debido a su gruesa capa de turba y topografía convexa (Lahteenoja *et al.*, 2009b).

6.2.8. Densidad de madera

Es una variable de suma importancia para la evaluación de un bosque, porque nos informa la cantidad de carbono que las plantas destinan al costo de construcción (Chave, 2002).

La densidad de madera no es igual para todas las plantas, esta variable varía dentro de la planta, durante la vida de la planta y entre individuos de la misma especie. Además, las ramas y las partes exteriores del tronco tienden a presentar densidades de madera más bajas que la médula del tronco (Chave, 2002).

6.2.9. Flujo de CO₂ de fustes de los árboles

En los ecosistemas forestales mediante la etapa de respiración autotrófica pueden emitir mayor de 50% del carbono fijado por la fotosíntesis, regulando de esta manera la productividad y el almacenamiento de carbono, porque esta respiración aumenta con la temperatura (Ryan *et al.*, 1997). Sin embargo, Chambers *et al.* (2004), mencionan que el 30% del carbono fijado se utiliza para construir diferentes tejidos vegetales y el 70% se utiliza en la respiración autotrófica, indicando baja

eficiencia del uso del carbono en un ecosistema, generando un debate sobre el origen del CO₂ emitido por los tallos, donde Teskey *et al.* (2008), mencionan que una gran cantidad del CO₂ fijado por la fotosíntesis permanece dentro del árbol disolviéndose en el xilema y transportándose lejos del sitio de origen.

La cantidad de CO₂ transportado es diurna y estacionalmente, depende de muchos factores, como el pH, la temperatura, la velocidad de la savia, haciéndolo esto más complejo. De tal manera que para entender la cuantificación del transporte interno de CO₂ en tejidos leñosos ha sido tan variable y difícil de predecir, con el mismo árbol, entre árboles de la misma especie, en diferentes especies, ya través de las estaciones (Teskey *et al.*, 2008).

El flujo de CO₂ en los fustes es un componente que juega un papel importante en el ciclo global de carbono (Angert *et al.*, 2012); pero el CO₂ del fuste podría ser tomado por las raíces y luego transportados hacia arriba (Vapaavuori & Pelkonen, 1985).

El flujo de CO₂ varía considerablemente por unidad de superficie de tallo, en los resultados de Chambers *et al.*, (2004), variaron de 0,027 a 3,64 mmol/m²/s⁻¹, esta variación no solo es por la diferencia de especies; ya que dentro de la variación de especie también es bastante alta. En los resultados de Asao *et al.*, (2016), el flujo de CO₂ por los fustes varió ligeramente entre las especies y la variación en la tasa del flujo por área superficial sólo estaba marginalmente relacionada con la capa de dosel. También menciona que el flujo de CO₂ del fuste aumenta a medida que disminuye el diámetro, porque en sus medidas de ramas y tallos menores el flujo de CO₂ de era más alto y el diámetro sería la variable más significativa.

Para medir el flujo de CO₂ se utiliza un analizador de gas infrarrojo (IRGA) que estima la tasa de acumulación de CO₂ dentro de una cámara sellada, y de referencia se sabe que las concentraciones de CO₂ varían entre 350-450 ppm en el campo dependiendo de la ubicación y la hora del día. Sin embargo, en un ambiente de oficina / urbano, 500-1500 ppm es usual dependiendo de la hora del día y el número de personas que están presentes (Marthews *et al.*, 2014).

VII. MARCO CONCEPTUAL

- **Emisión:** está relacionado con la acción y efecto de emitir. En este caso es verter sustancias a la atmosfera como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, entre otros gases. <https://definicion.de/emision/>
- **Densidad de madera:** Es la resistencia y dureza de la madera se mide en gr/cm³ <http://www.areatecnologia.com/materiales/madera.html>.
- **Flujo de carbono:** Es normalmente definido como el flujo de carbono entre la vegetación y la atmósfera o el flujo entre el suelo y la atmósfera (Honorio & Baker, 2010).
- **Fuente de carbono:** Un área de bosque es considerada como una fuente de carbono cuando el stock de carbono disminuye con el tiempo (Honorio & Baker, 2010).
- **Fustes:** Es la parte de la columna del árbol, entre la base y la copa.
- **Geoquímica:** Es el estudio de la química y la geología agrupada, para determinar la abundancia relativa y absoluta, distribución y migración de los elementos químicos en la tierra. <https://www.sgm.gob.mx>
- **Producción primaria bruta (PPB):** Es el carbono total fijado por la fotosíntesis en las plantas (Honorio & Baker, 2010).
- **Producción primaria neta (PPN):** Es el incremento neto en la biomasa debido a la fotosíntesis, excluyendo el carbono utilizado en la respiración (Honorio & Baker, 2010).
- **Sumidero de carbono:** Área que almacena carbono y que la cantidad de carbono aumenta con el tiempo. Es decir, el cambio en el stock de carbono

es positivo y esto sucede si los flujos que agregan carbono al stock, como el crecimiento, son más altos que los flujos que disminuyen el stock, como la mortalidad, por un periodo dado (Honorio & Baker, 2010).

- **Stock de carbono:** Es todo el carbono que se encuentra almacenado en los diferentes componentes de un ecosistema (Honorio & Baker, 2010).
- **Turba:** Es un material orgánico alto en carbono que se ha formado en un lugar y no ha sido transportado desde su formación. La turba se clasifica en dos tipos, la rubia y la negra, según el grado de descomposición, siendo la primera con un menor grado que la segunda. Grandes cantidades de turba se acumulan en cierto tipo de humedales llamados turberas.
<https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe%20Turba%20VF.pdf>
- **Turbera:** Son un tipo de humedal, y están caracterizadas por depósitos esponjosos de turba, son ecosistemas originados por acumulación de materia orgánica de origen vegetal en distintos estados de descomposición (Iturraspe & Roig, 2000).

VIII. MATERIALES Y MÉTODO

8.1. Lugar de ejecución

El presente estudio se realizó en tres turberas de la Amazonía peruana, la primera se ubica cerca a la comunidad de Buena vista (rio Tahuayo), la segunda se ubica en Quistococha al margen derecho del lago y la tercera se encuentra cerca a la comunidad de san Jorge.

La turbera de Buena Vista y San Jorge se ubican cerca de la localidad de Tamshiyacu, distrito de Fernando Lores, y Quistococha en el distrito de San Juan Bautista, las tres turberas están dentro de la provincia de Maynas, departamento de Loreto.

Cada turbera se dividió en dos parcelas de 0.5 ha. Obteniendo 6 parcelas de estudio que se codifican de la siguiente manera:

Buena Vista se codifican BVA_01 y BVA_02, para la turbera de Quistococha QUI_01 y QUI_02, y para San Jorge SJO_01 y SJO_02.

Las coordenadas UTM de BVA_01 son: V1 (E 699513 y N 9531153), V2 (E 699613 y N 9531158), V3 (E 699613 y N 9531109), V4 (E 699515 y N 9531109).

Las coordenadas UTM de BVA_02 son: V1 (E 699921 y N 9529926), V2 (E 699914 y N 9530026), V3 (E 699966 y N 9530030), V4 (E 699971 y N 9529923) (figura 12).

Las coordenadas UTM de QUI_01 son: V1 (E 686488 y N 9576068), V2 (E 686440 y N 9576063), V3 (E 686455 y N 9575963), V4 (E 686503 y N 9575972). Las Coordenadas UTM de QUI_02 son: V1 (E 686886 y N 9575938), V2 (E 686875 y N 9575992), V3 (E 686981 y N 9576003), V4 (E 686984 y N 9575951) (figura 13).

Las coordenadas UTM de SJO_01 son: V1 (E 700374 y N 9550711), V2 (E 700383 y N 9550608), V3 (E 700333 y N 9550610), V4 (E 700326 y N 9550713).

Las coordenadas UTM de SJO_02 son: V1 (E 701038 y N 9551432), V2 (E 701041 y N 9551333), V3 (E 700993 y N 9551327), V4 (E 700984 y N 9551425), (figura 14).

8.2. Accesibilidad

Turberas de Buena Vista

a). **Comunidad de Buena Vista:** Para el acceso es vía fluvial río Itaya-Amazonas-Tahuayo aguas arriba. Se partió del puerto de Belén margen izquierdo río Itaya en la embarcación fluvial “Sánchez”, con 5 horas de viaje (Itaya-Amazonas) hasta el cruce del río Tahuayo y posteriormente 3 horas aguas arriba por el mismo río hasta la comunidad de Buena Vista. Haciéndose un total de 8 horas de viaje en temporada de creciente y en temporadas de vaciante hasta 10 horas aproximadamente.

b). **Turbera Buenas Vista:** Para el acceso a las parcelas BVA_01 y BVA_02, se parte del puerto de la comunidad en una embarcación de madera de 3 TN de capacidad bruta con motor 12 Hp (peque-peque) con 30 minutos de viaje por el río Tahuayo aguas abajo hasta la entrada de las trochas de acceso; luego, una caminata de 45 minutos para BVA_01 y 25 minutos para BVA_02.

Turberas de Quistococha

Se desplaza vía terrestre y fluvial por la carretera Iquitos-Nauta-Km 06 (Centro Turístico de Quistococha), a 30 minutos de distancia aproximadamente desde la ciudad de Iquitos. Luego, desde la playa de Quistococha en una embarcación de metal (canoa) a remo, se desplaza al margen derecho del lago, donde se ubican las dos parcelas (QUI_01 y QUI_02), ambas se caminan 15 minutos aproximadamente, desde la orilla del lago hasta las parcelas.

Turberas de San Jorge

- a). **Comunidad de San Jorge:** Para el acceso es vía fluvial río Itaya-Amazonas aguas arriba. Se partió del puerto de Belén margen izquierdo río Itaya en la embarcación fluvial “Delfincito”, con 7 horas de viaje (Itaya-Amazonas) hasta la comunidad de San Jorge.
- b). **Turbera San Jorge:** Para el acceso a las parcelas SJO_01 y SJO_02, se desplaza vía terrestre por trocha, con 4 horas de caminata con carga idea y vuelta desde la comunidad hasta las parcelas.

8.3. Caracterización del área de estudio

8.3.1. Clima

En el distrito de Tamshiyacu, donde se ubican las turberas de Buena Vista y San Jorge, la temperatura promedio máxima anual esta entre 32,5 y 30°C y las mínimas entre 21 y 20°C, las temperaturas mínimas se registran entre los meses de septiembre a marzo y las máximas entre los meses de julio a agosto. La precipitación pluvial promedio total anual de 2556,2 mm y la humedad relativa fluctúa entre 88,4 y 91,2% (SENAMHI, 2007).

En el distrito de San Juan Bautista donde se ubica la turbera de Quistococha mantiene un clima caluroso, con una temperatura promedio anual mínima de 22°C y máxima de 32°C, variando excepcionalmente a un mínimo de 17°C algunos días entre junio y julio, y a un máximo de 36°C entre octubre y enero. <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/lquitos/loreto-caracterizacion.pdf>. Durante el mes de junio, principalmente, se presenta el fenómeno conocido como “los fríos de San Juan”, el cual registra bruscos cambios de temperatura, incremento de la

presión atmosférica y disminución de la humedad ambiental (Municipalidad Distrital de San Juan Bautista, 2009).

8.3.2. Fisiografía

Las turberas tropicales corresponden a la categoría de tierras bajas de llanuras aluviales amazónicas (Lähteenoja *et al.*, 2009b).

8.3.3. Geología

En la cuenca del oeste de la amazonia, la acumulación de turba probablemente comenzó recientemente, cuando el área presentó ciertas condiciones de aislamiento de los ríos, siendo los ríos el principal causante de inundaciones periódicas de las turberas, porque los ríos presentan cierta dinámica que permite que los depósitos de turba no sean antiguos y estén en constante cambio (Lähteenoja *et al.*, 2009b).

8.3.4. Suelos

Los suelos en general son del orden Histosoles, porque los suelos íntegramente están formados por material de suelo orgánico; además, se encuentran en todas las altitudes, pero la gran mayoría ocurre en tierras bajas (Ibáñez & Manríquez 2011).

La turbera de Buena Vista presenta un suelo mineral, rico en nutrientes con un alto contenido en calcio, por los depósitos arrastrados por las inundaciones, considerado una turbera minerotrófica (Lähteenoja *et al.*, 2009b). La turbera de Quistococha presenta una fuente minerotrófica de Ca, pero es considerablemente menor que de Buena Vista. En consecuencia, Quistococha es probablemente una

turbera minerotrófica pobre en nutrientes (Lähteenoja *et al.*, 2009b). Los suelos de San Jorge presentan un suelo mineral, pobres en nutrientes, considerado una turbera ombrotrófica (Lähteenoja *et al.*, 2009b).

8.3.5. Vegetación

La turbera de Buena Vista presenta un bosque primario aluvial, esto es característico de turberas que presentan alto contenido de nutrientes (Lähteenoja *et al.*, 2009b).

La turbera de Quistococha presenta abundancia de *Maurita flexuosa*, pantano de palma y bosque (Lähteenoja *et al.*, 2009b).

La turbera de San Jorge presenta abundancia de *Maurita Flexuosa*, pantano de palma y bosque, es considerado una turbera de varillal hidromórfico, porque su vegetación presenta características similares al de un varillal, los diámetros de los fustes de los árboles son delgados, como son los árboles de suelos de arena blanca, (Lähteenoja *et al.*, 2009b).

8.3.6. Topografía

La turbera de Buena Vista presenta depresiones, en forma cóncava y en San Jorge presenta forma convexa típica de los pantanos ombrotróficos elevados (Lähteenoja *et al.*, 2009b).

8.3.7. Hidrografía

En general Loreto está integrada por una extensa red hidrográfica, donde el Amazonas, Ucayali y Marañón son sus principales ríos.

La turbera de Buena Vista es inundada por las aguas del río Tahuayo (afluente del río Amazonas) periódicamente, entre los meses de diciembre a junio, por eso se considera una turbera minerotrófica y rica en calcio (Lähteenoja *et al.*, 2009b). La turbera de Quistococha está situada a los bordes del lago Quistococha, este lago alimenta de nutrientes a la turbera, presentando cierto déficit porque un lago no trae consigo los nutrientes al igual que un río, por eso se puede decir que la turbera de Quistococha es minerotrófica, pero pobre en nutrientes (Lähteenoja *et al.*, 2009b). La turbera de San Jorge se ubica de forma paralela con el río Amazonas, esta turbera solo se nutre y se abastece solo por la precipitación, es considerada una turbera ombrotrofica, (Lähteenoja *et al.*, 2009b)

8.3.8. Zonas de vida

Las tres turberas, según la clasificación de ONER (1976), están ubicadas en un bosque húmedo tropical (bh-T), con una altitud no mayor de 350 msnm.

8.4. Materiales y equipos

8.4.1.1. Equipos

Gas Hound modelo Li-800, laptop, batería seca y baterías extras de laptop, generador de luz, cronómetro, cámara fotográfica.

8.4.1.2. Herramientas

Libreta de campo, bolsas herméticas, impermeable, capota, silicona líquida en tubo, pistola metálica, ligas de jebe.

8.5. Método

8.5.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es de tipo descriptivo, cuantitativo y correlacional de nivel básico, basado en la toma de datos del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles de 25 individuos por parcela en las tres turberas evaluadas.

8.5.2. Población y muestra

La población del estudio estuvo conformada por los 25 árboles seleccionados de cada parcela, teniendo 50 árboles por cada turbera. Obteniendo un total de 150 árboles evaluados.

La muestra son las veces que se midieron a cada árbol, sabiendo que las mediciones eran mensuales y que constaban de dos repeticiones de 5 minutos cada una, teniendo mensualmente 50 muestras por cada parcela. Los meses de evaluación fueron 6 meses de junio a noviembre del 2016; sin embargo, en la turbera de San Jorge solo se midieron 2 meses (Julio y octubre); por lo tanto, el total de muestras fueron 1400.

Cuadro 2. Identificación de la población y muestra de la evaluación

POBLACION	MUESTRAS/ repeticiones (2)						Total de muestras
	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	
Árboles de QUI_01	50	50	50	50	50	50	300
Árboles de QUI_02	50	50	50	50	50	50	300
Árboles de BVA_01	50	50	50	50	50	50	300
Árboles de BVA_02	50	50	50	50	50	50	300
Árboles de SJO_01	-	50	-	-	50	-	100
Árboles de SJO_02	-	50	-	-	50	-	100
SUB TOTAL	200	300	200	200	300	200	1400

8.5.3. Análisis estadístico

Se realizó la prueba de normalidad a través del test del test de Shapiro-Wilks.

- Se ha determinado la media, desviación estándar, error estándar e intervalo de confianza de los datos.
- Para determinar el efecto de la geoquímica de los suelos con el flujo de CO₂ utilizamos un boxplot.
- Para determinar si existe una relación del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles con la densidad de madera, se realizó una regresión lineal y para ver el grado de correlación entre estas dos variables utilizamos el test de spearman.
- Para determinar variación significativa la del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles entre las parcelas estudiadas se utilizó el test-T Pairwise, considerando el valor de significancia menor o igual a 0,05.

8.6. Procedimiento

Para realizar el análisis del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles se ha usado las parcelas permanentes que fueron instaladas anteriormente por el proyecto Internacional.

Las parcelas permanentes son 6 (BVA_01, BVA_02, QUI_01, QUI_02, SJO_01 Y SJO_02), con un área de 0.5 ha (50m x 100m). cada parcela está sub dividida en 15 sub-parcelas, 10 de estas subparcelas miden 20 m x 20 m y 5 sub-parcela miden 20 m x 10 m.

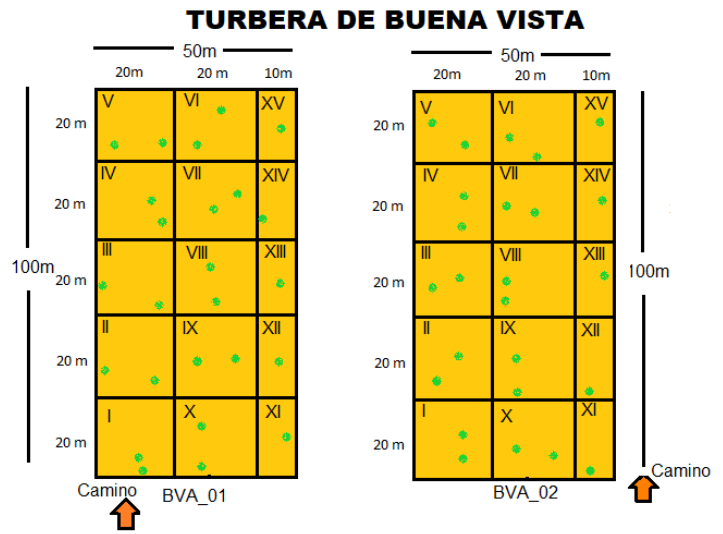
En cada parcela hay 25 árboles que fueron seleccionados, utilizando los siguientes criterios:

1. Abundancia de especies: Se seleccionaron las especies más abundantes.
2. Diámetro: Se seleccionaron árboles cuyo diámetro es suficientemente grande (>10 cm) para poder colocar la cámara de fustes.
3. Distribución regular: Se distribuyeron las cámaras de una manera regular en las subparcelas.

Los 25 árboles están organizados de la siguiente manera:

2 árboles en las 10 primeras sub parcelas y en las 5 últimas sub parcelas se encuentra un árbol (fig. 1,2 y 3).

Figura 1. Distribución de las dos parcelas de la turbera de Buena Vista y la ubicación de referencia de los árboles evaluados



TURBERA DE QUISTOCOCHA

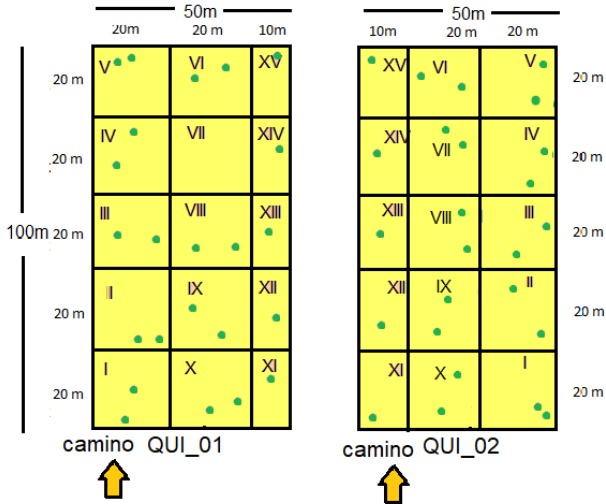
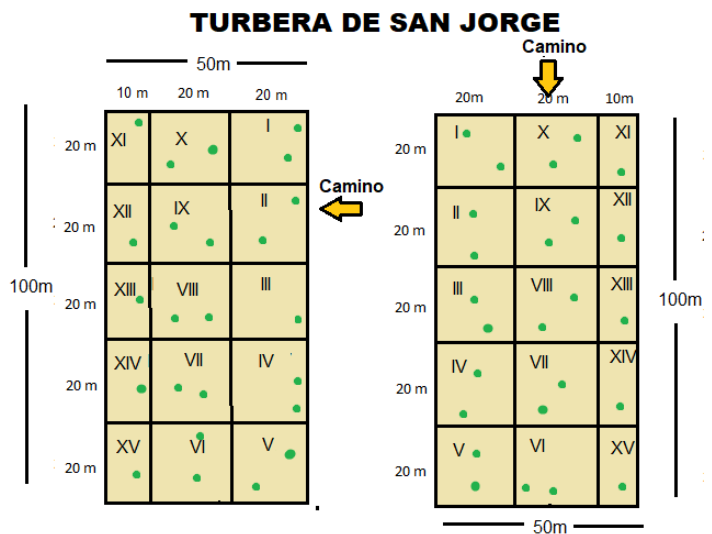


Figura 2. Distribución de las dos parcelas de la turbera de Quistococha y su ubicación de referencia de los árboles evaluados.

Figura 3. Distribución de las dos parcelas de la turbera San Jorge y su ubicación de referencia de los árboles evaluados.



La investigación contempla las siguientes actividades:

8.6.1. Trabajo de campo

- ***Medición de las cámaras de fustes con el LI-800***

Para realizar este tipo de mediciones es adecuado trabajar en un tiempo requerido, se estima un día para hacer una parcela de 1 ha con un equipo de dos personas (Marthews *et al.*, 2014). Para este proyecto solo avanzamos 0,5 ha por día, porque las parcelas no están cerca.

Se midieron las cámaras de fuste con el analizador de Gas Hound de CO₂ LI-800, que es un analizador de gas infrarrojo absoluto y analizador de datos, basado en un subsistema de detección de infrarrojos de doble longitud de onda. La medición del CO₂ es una función de la absorción de la energía IR mientras se desplaza por el camino óptico. Las mediciones de concentración se basan en la relación de diferencia en la absorción de IR entre una señal de referencia y de muestra. La salida de datos se proporciona en un formato digital, que tiene conexión a un ordenador externo, (Manual de instrucciones Medioambiental GAS HOUND Modelo - Li800 CO₂ Analyzer). Por tal motivo los datos son guardados en el computador. Estas mediciones se registran mensualmente en las parcelas de Buena Vista y Quistococha, en San Jorge se miden cada tres meses.

Para medir el flujo de CO₂ en las cámaras de fustes se debe seguir los siguientes pasos:

- Alistar los materiales que se llevaran al campo con anticipación, las baterías de la computadora (tres baterías extras) y la del licor deben estar completamente cargadas, llevar ligas de caucho, silicona en tubo y su aplicador.

- En el campo, se verifican el buen estado de las cámaras todos los meses antes de la medición; es decir, deben estar limpias, selladas y ajustadas, de no ser así, el ayudante empieza adecuar las cámaras para ser medidas.
- Para medir la cámara que ha sido sellada se espera como 20 minutos mínimo para que se seque.
- Se prende el Licor en el interruptor rojo (detrás de la caja negra) y se ajusta el regulador de flujo a 4 litros por minuto (al lado derecho de la caja de Licor).
- Se enciende la computadora y se inicia el programa LI-800 GasHound, seleccionando **COM2** (Puerto de entrada del cable de USB) y se presiona en **OK**.
- La ventana principal presenta 4 opciones: configure, calibrate, record y quit, la configuración y calibración están estipuladas, mejor no tocar nada, luego presionar record, y nos presenta cinco opciones de mejor lectura.
- En **Y-AXIS**: en **Y-axis Max** poner **700**, en **Y-axis Min** poner **300**, seleccionar **Y-axis ticks** y poner **5**.
- En **X-AXIS**: seleccionar **Tick Marks**, seleccionar en **Plot Length** (longitud de trazado) **500 samples** y seleccionar en **Tick Every** (marque cada) **10th samples**.
- En **Log File**: seleccionar **Point**, presionar en **Save to** y se abre una ventana para guardar el archivo, dentro de la carpeta de la turbera (es decir, Buena Vista, Quistococha, San Jorge) se crea una carpeta con el nombre del mes de la evaluación y el año respectivo y dentro de esta carpeta crear dos carpetas para cada parcela:
-

Nombre de la carpeta de la turbera: San Jorge**Carpeta: Noviembre 2016****Carpeta: SJO_01****Carpeta: SJO_02**

- Guardar el archivo de cada medición con el código de árbol que se esté evaluando, por ejemplo: para el árbol con código 3 el nombre del archivo es “3” y para su repetición sería “3-2”. Escribir el nombre del archivo en **File name** y presionar **Save** para guardar el archivo.
- Se vuelve a la ventana principal y se eleva la tapa de la cámara por encima de la cabeza para evitar que el LI-800 capture la respiración del operador y mover la tapa buscando corrientes de aire, se espera que la lectura de CO₂ baje a **380-430 ppm** (tener en cuenta que la concentración de CO₂ en el ambiente es de 420 ppm).
- cuando se logra tener aproximadamente esta lectura que va descendiendo, **realizar rápido los siguientes pasos:** presionar de nuevo en **Record, Log File, Point** y **Save to** (y se abre la ventana para guardar el archivo que ya tiene el nombre del archivo definido), **Save** y **Start** para empezar la lectura, al instante de presionar en **Start**, colocar la tapa en la cámara, sin respirar, con cuidado y despacio sin dañar o despegar la cámara ni disturbar el flujo de CO₂.
- Verificar que no haya oscilación en el gráfico, en el caso contrario, reiniciar la lectura, medir por **5 minutos**, luego presionar **Stop** y luego **Quit** (Anexo 7).

8.6.2. Trabajo de gabinete

Para el procesamiento de datos se ha usado un protocolo por lo antes mencionado (anexo 8).

- **Procesamiento de datos (Convertir de block de notas a excel)**
- Los datos se encuentran en block de notas y se le lleva a Microsoft Excel siguiendo los pasos descrito en el anexo 8.
- En la hoja de excel se crea una nueva columna (columna C) al lado de la columna del tiempo original (columna B).
- Se selecciona la nueva columna C y se da a las celdas el formato **número**, convirtiendo el tiempo original (horas, minutos y segundos) a sólo minutos, escribiendo la siguiente formula en la celda de excel C2:

$$=HORA(B2)*60+MINUTO(B2)+SEGUNDO(B2)/60$$

*copiar la misma fórmula para todas las celdas de la columna C, hasta el fin de los valores.

- Se Seleccionan las columnas C (tiempo en minutos) y D (Point=concentración de CO₂) y se inserta **un gráfico de dispersión con líneas rectas y marcadores** para calcular el flujo de CO₂ (asegurar que x= tiempo en minutos y y=CO₂).
- Presionar en **(+)** que está al lado derecho del gráfico y se abre una lista de elementos de gráfico, elegir **línea de tendencia, más opciones, seleccionar ecuación en el gráfico y presentar el valor R.**
- Si hay picos o partes irregulares al inicio o al final de la línea, borrar los datos que corresponden a esas partes **eliminando esos datos del archivo Excel**, es decir buscar la parte regular de la curva (R² tiene que ser > 0,9).
- En la ecuación, el número que se ubica delante de x es el flujo de CO₂ dentro de la cámara con la unidad ppm/min, por ejemplo, en la ecuación: $y=6,3957x-3101,8$, el flujo de CO₂ es 6,3957 ppm/min.

- Repetir el procedimiento para todos los archivos de block de notas.

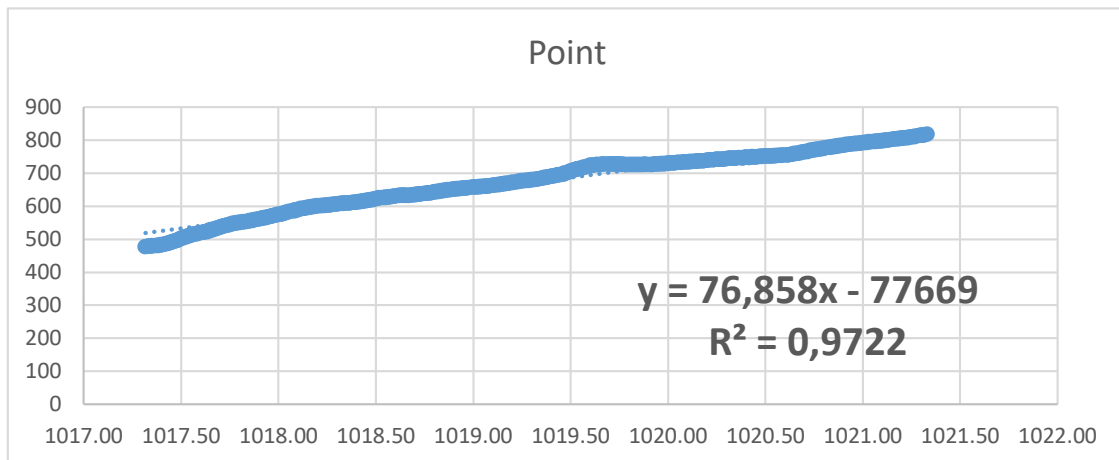


Figura 4. Línea de tendencia, ecuación y coeficiente de determinación

- **Determinación del flujo de CO₂ para las turberas evaluadas**

Para tal efecto se crea una nueva hoja de cálculo que presentan las siguientes columnas:

- **la primera columna: Fecha** (por ejemplo, 31/06/2016).
- **La segunda columna: Parcela** (por ejemplo, BVA-01)
- **La tercera columna: Árbol**, escribir el código del árbol en el cual se hizo la medición (por ejemplo, 3)
- **La cuarta columna: Lectura del flujo de CO₂, LcxCO₂ (ppm/min)**, escribir el flujo de CO₂ obtenido en la parte anterior y tiene que ser el promedio de las dos lecturas que se ha tomado para ese árbol en ese mes.
- **La quinta columna: Altura de la cámara sobre el fuste (dm)**, escribir la altura de la cámara sobre el fuste en decímetros (dm).
- **La sexta columna: Presión atmosférica Px (mbar)**, escribir el promedio de todos los valores de presión de los dos archivos de block de notas que corresponden a ese árbol y ese mes en la unidad de milibares (mbar).

- **La séptima columna: Temperatura de aire, T_{air} (°C)**, escribir el promedio de todos los valores de temperatura del aire de los dos archivos de block de notas que corresponden a ese árbol y ese mes.
- **La octava columna: Volúmen molar, V_m (dm³=litros)**, calcular el volumen molar de un gas en la temperatura de medición y la presión de medición con la ecuación siguiente:

$$V_m = 22,4dm^3 * \frac{(273,15 \text{ kel} + T_{air})}{273,15 \text{ kel}} * \frac{1013,25}{P_x}$$

Donde:

- ✓ La primera parte de la ecuación representa el volumen (22,4 litros=dm³) que 1 mol (= 6,023x 10²³ moléculas) de cualquier gas normal ocupa en la temperatura de 273,15 K / 0 °C y en la presión atmosférica estándar a nivel del mar (1013,25 mbar).
- ✓ En la segunda parte de la ecuación donde:
 La parte superior representa la conversión de la temperatura de medición (T°) desde la unidad de °C a la unidad de Kelvin.
 La parte inferior es la temperatura de 273,15 Kelvin = 0 °C (que es la temperatura de referencia).
 NOTA: cuando la temperatura aumenta, el espacio que el gas ocupa también aumenta.
- ✓ En la tercera parte de la ecuación donde:
 La parte superior es la presión atmosférica de referencia (1013,25 mbar)
 La parte inferior es la presión de medición (P_x).

NOTA: cuando la presión aumenta, el espacio que el gas ocupa disminuye

- **La novena columna: Área de la cámara, A_{cam} (m^2),** calcula el área de la cámara usando la radio (r) de la cámara (5 cm = 0,05 m):

$$A_{cam} = \pi r^2$$

$$A_{cam} = 3,1416 * (0,05)^2$$

$$A_{cam} = 0,00785 m^2$$

$$A_{cam} = 0,785 dm^2$$

- **Décima columna: Volumen de la cámara, V_{cam} (dm^3),** calcula el volumen de la cámara usando el área de la cámara y la altura del tubo de la cámara (h , 10 cm = 1 dm):

$$V = A_{cam} * h$$

$$V = 0,785 dm^2 * 1 dm$$

$$V = 0,785 dm^3$$

- **Undécima columna: Flujo de CO_2 (micromoles($\mu mol/ m^2/min$)).** Calcula el flujo de CO_2 en la unidad de micromoles ($\mu mol / m^2 / min$)

$$Flujo de CO_2 = \frac{V_{cam}}{Vm} * \frac{Lc \times CO_2}{A_{cam}}$$

Donde:

- ✓ En la primera parte de la ecuación se divide el volumen de la cámara con el volumen molar para saber cuántos moles de gases la cámara contiene en esa temperatura.

NOTA: Solo una parte de esos gases es CO_2 – hay también otros gases dentro de la cámara, como O_2 , CH_4 , N_2O etc.

- ✓ En la segunda parte de la ecuación, se multiplica el número de moles por la lectura de CO₂ en ppm (partes por millón) para saber la fracción de CO₂ de todos los gases dentro de la cámara.

NOTA: El resultado sale en micro moles, porque el micro mol es una 1/1000000 parte de mol, es decir, una parte por millón (ppm).

- ✓ Al final se lo divide por el área de la cámara para saber el flujo de CO₂ por m²
- **Comparar el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en la turbera de Buena Vista, Quistococha y San Jorge con geoquímica rica, intermedia y pobre.**

- **Datos de la geoquímica de las turberas**

Los datos geoquímicos de las tres turberas estudiadas fueron adquiridos del artículo científico Lähteenoja *et al.*, (2009b), este artículo nos define las categorías de los nutrientes del suelo de las tres turberas amazónicas, donde la turbera de Buena Vista presenta mayor nutriente en los suelos, Quistococha es una turbera con geoquímica intermedia y San Jorge muestra una turbera pobre en nutrientes.

Cuadro 3. Nutrientes esenciales de las tres turberas estudiadas según (Lähteenoja et al. 2009b).

Nutrientes	NUTRIENTES DE LAS TUBERAS		
	BVA	QUI	SJO
	g Kg ⁻¹		
Ca	17,4	1,46	0,37
K	2,13	0,18	0,89
Mg	1,73	0,14	0,3
P	0,39	0,18	0,37

Para determinar la relación de la geoquímica y el flujo de CO₂ intentamos hacer una regresión lineal, pero esto no fue posible porque no contamos con la geoquímica de los suelos para cada parcela, solo a nivel de turbera; por tanto, estadísticamente los resultados no fueron confiables. Entonces, utilizamos un boxplot para explicar la tendencia de nuestros datos y demostrar la variación en los seis sitios de muestreo entre estas dos variables; Posteriormente, esos resultados fueron ordenados en una escala que va de menor a mayor de acuerdo a la parcela con menor geoquímica, a la parcela con mayor geoquímica, para mostrar que el flujo de CO₂ tiende a aumentar a medida que la geoquímica del suelo aumenta a lo largo de las turberas. De esta manera se obtiene la tendencia mediante una relación indirecta de la geoquímica de los suelos y el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles.

- **Analizar y relacionar la densidad de madera de las especies con el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las turberas de Buena Vista, Quistococha y San Jorge**

- **Datos de densidad de madera**

El valor de densidad de la madera para cada especie identificada se usó de la base de datos disponible en la web (<http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>; Zanne *et al.*, 2009).

Para determinar si existe relación del flujo de CO₂ con la densidad de madera, promediamos el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles a nivel de especie, porque no teníamos la densidad de madera de cada individuo y así se relacionan estas dos variables. Teniendo los promedios del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles por especie y la densidad de madera de cada especie, se realizó una regresión lineal,

para determinar si la densidad de madera afecta al flujo de CO₂ por los fustes de los árboles y para ver el grado de correlación entre estas dos variables utilizamos el test de Spearman, porque nos permite trabajar con datos que no provienen de una naturaleza normal.

- **Comparar y analizar la variación significativa del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las 6 parcelas estudiadas**

Para determinar la variación significativa del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles entre las seis parcelas evaluadas se utilizó el test-T Pairwise, considerando el valor de significancia menor o igual a 0,05, donde se hace la comparación mediante un cuadro, que indica cuanto varían significativamente una parcela a otra.

- **Relación del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles entre las especies de las tres turberas evaluadas**

En nuestra hipótesis consideramos que la densidad de madera afecta al flujo de CO₂ por los fustes de los árboles, entonces al realizar el test de Spearman, también se obtienen estos resultados, luego resaltamos cuál de las especies evaluadas presentó un mayor y menor flujo de CO₂ por los fustes de los árboles con respecto a otras especies.

8.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos consistió en medir el flujo de CO₂ mensualmente de los 25 individuos por parcela (BVA_01, BVA_02, QUI_1 y QUI_02) y cada tres meses las parcelas ubicadas en la turbera de San Jorge, para el cual se utilizaron el equipo analizar de gas Licor-800. También se ha utilizado formatos de campo especializado y detallado para el estudio (Anexo 01), en el cual se tiene registrado

los siguientes datos: el número del árbol, altura de la cámara, presencia de termitas, vivo o muerto y otras observaciones.

8.8. Técnicas de representación de resultados

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación se presentan en cuadros y figuras que sirven para una mejor interpretación de los resultados, para elaborar la discusión y formular las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

IX. RESULTADOS

9.1. Test de normalidad de los datos del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles

Utilizando el test de Shapiro-Wilks determinamos que nuestros datos no provienen de una naturaleza normal; la figura 5, muestra la frecuencia de nuestros datos agrupados al lado izquierdo del histograma, con valores entre 20 a 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, referencia clara de datos no normales. El test de Shapiro Wilks es igual a 0,76 con un P-value $<0,0001$, reflejándose esto en la curva de referencia que no cumple formándose una campana.

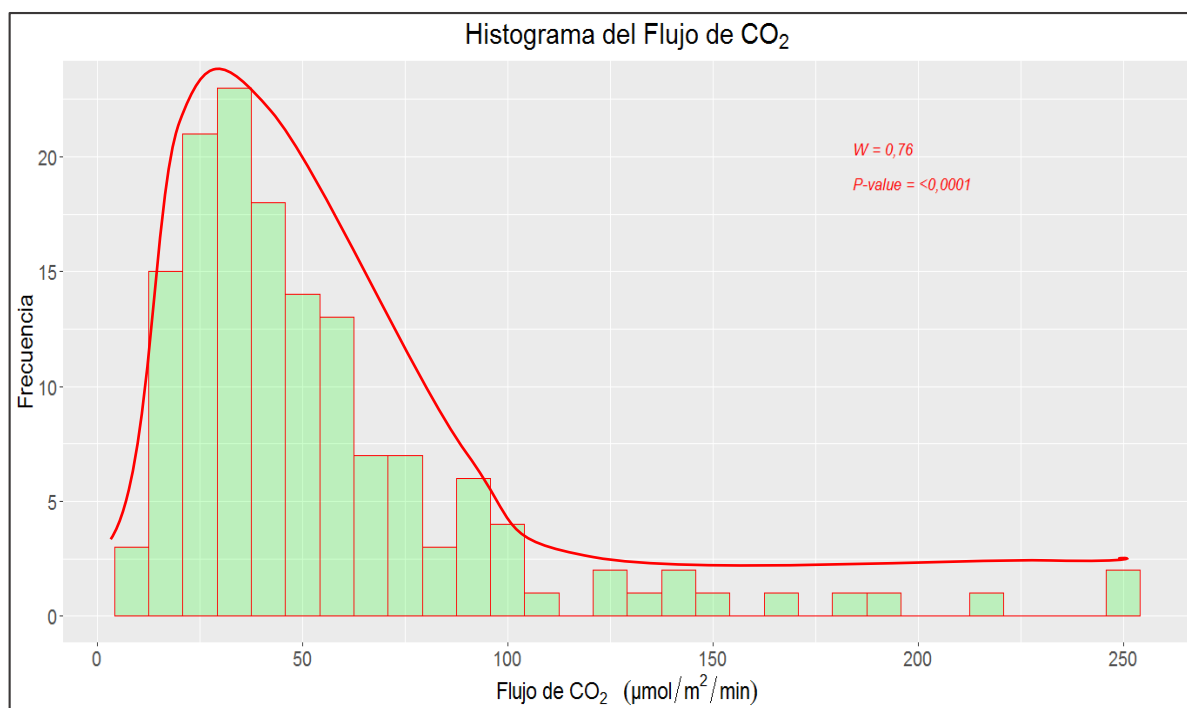


Figura 5. Test de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos

9.1.1. Flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las 6 parcelas evaluadas

El cuadro 4, muestra que la parcela de BVA_01 presenta mayor flujo de CO₂ con 85,828 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, y la parcela de BVA_02 con 53,679 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, mostrando una amplia diferencia a pesar de pertenecer a la misma turbera; en cambio, el flujo promedio de CO₂ de las parcelas de Quistococha y San Jorge presentan cierta similitud en sus resultados, con 54,953 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ en QUI_01, 57,015 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ en QUI_02, y en las parcelas de San Jorge con 41,003 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ en SJO_01, y 39,086 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ en SJO_02. La parcela de QUI_01 presenta valores de flujo de CO₂ muy dispersos con respecto a la media, reflejándose esta situación en la desviación estándar teniendo como dato numérico $\pm 60,841$; mientras, que la parcela de SJO_02 se observa una menor desviación estándar con $\pm 19,507$ (Figura 6).

Cuadro 4: Promedio del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles por parcela

Parcela	Promedio del flujo de CO₂ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza (%)
BVA_01	85,828	$\pm 39,782$	7,956	16,421
BVA_02	53,679	$\pm 43,962$	9,372	19,491
QUI_01	54,953	$\pm 60,841$	12,168	25,114
QUI_02	57,015	$\pm 41,094$	8,218	16,962
SJO_01	41,003	$\pm 30,443$	6,088	12,566
SJO_02	39,086	$\pm 19,507$	3,901	8,052

9.1.2. Flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las turberas evaluadas

En el cuadro 5, muestra que la turbera de Buena Vista, presenta mayor flujo de CO₂ por los fustes de los árboles, con 70,779 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, Quistococha muestra flujo intermedio, con 55,984 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, y San Jorge presenta un flujo de CO₂ inferior con respecto a las dos otras turberas con 40,045 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, siendo esta última turbera la que presenta menor error estándar y con valores muy sesgados a la media (figura 07).

Cuadro 5: Promedio del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles por turbera

Turberas	Promedio del flujo de CO₂ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza (%)
Buena Vista	70,779	$\pm 44,395$	6,475	13,035
Quistococha	55,984	$\pm 51,393$	7,268	14,605
San Jorge	40,045	$\pm 25,323$	3,581	7,196

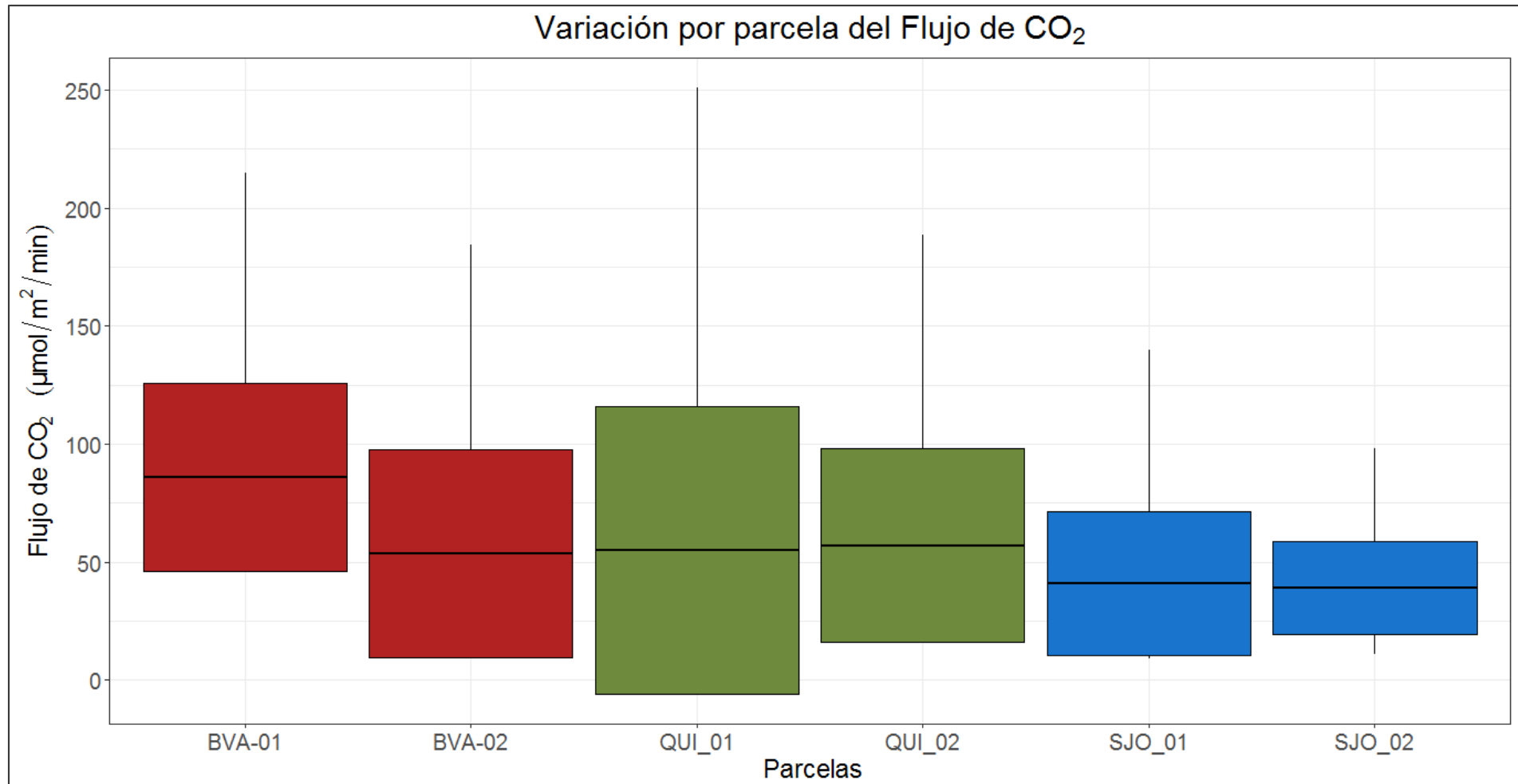


Figura 6. Variación del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las 6 parcelas estudiadas

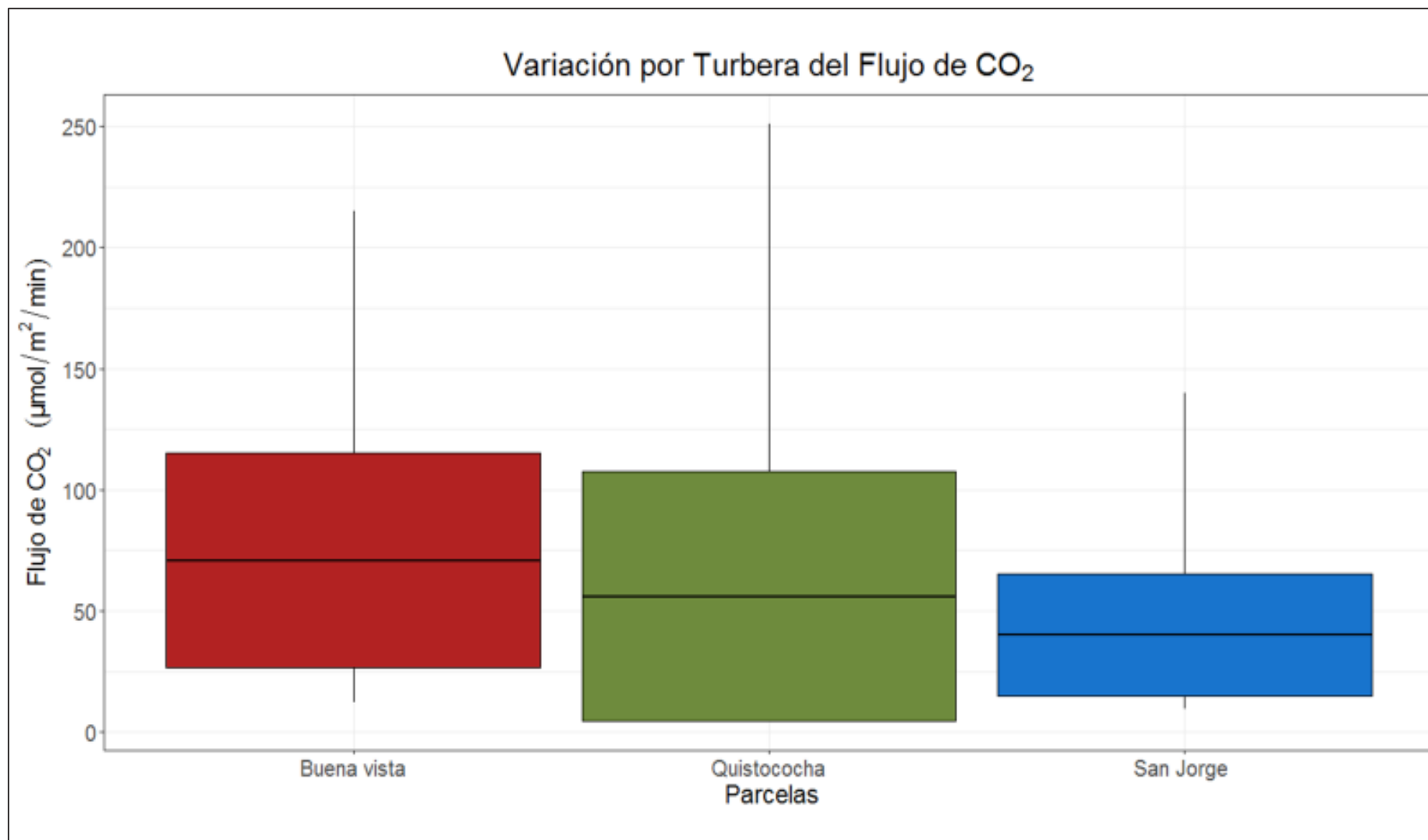


Figura 7. Promedio del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las turberas

9.2. Comparación del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en relación a la geoquímica de los suelos en las turberas estudiadas

Los resultados muestran que la geoquímica de los suelos afecta indirectamente al flujo de CO₂ por los fustes de los árboles, porque al ordenar los datos en relación a la geoquímica de los suelos nos resulta una cierta similitud, que a mayor fertilidad del suelo mayor flujo de CO₂; es decir, que el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles tiende a aumentar cuanto mayor sea la fertilidad del suelo. Se conoce que la turbera de San Jorge presenta menor geoquímica en el suelo y tiene menor flujo de CO₂ por los fustes de los árboles, Quistococha se considera una turbera minerotrófica pero pobre en nutrientes; por tanto, su suelo es de geoquímica intermedia y su promedio de flujo de CO₂ no es superior al promedio de Buena Vista ni inferior a la de San Jorge, se encuentra en medio de las dos turberas, Buena Vista tiene mayor geoquímica en los suelos y muestra mayor flujo de CO₂ ante Quistococha y San Jorge (Figura 8).

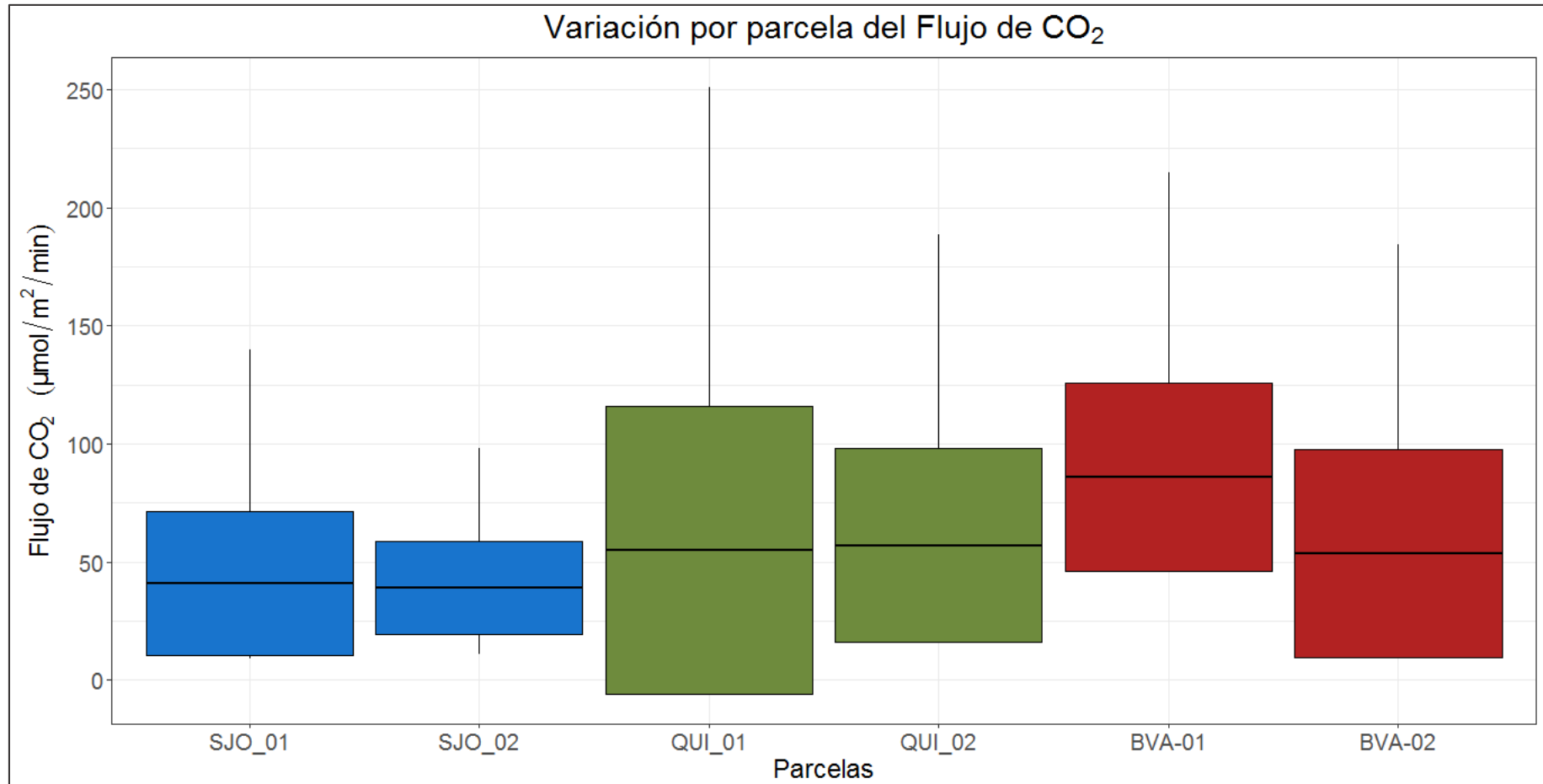


Figura 8. Tendencia mediante una relación indirecta de forma lineal creciente, de menor a mayor escala, entre la geoquímica de los suelos y el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles

9.3. Relación de la densidad de madera de las especies con el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las turberas evaluadas

El cuadro 6, presenta nombre científico de las especies evaluadas, flujo promedio de CO₂ de mayor a menor y densidad de madera. Las especies con mayor flujo de CO₂ de estas turberas son *Macrolobium huberianum* con 184,662 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ y *Triplaris weigeltiana* con 158,544 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$. Sin embargo, la especie *Macrolobium huberianum* no presenta densidad de madera. También se observa que la densidad de madera no presenta cierta relación con los valores del flujo de CO₂; por ejemplo, *Licania heteromorpha* tiene un promedio de flujo de CO₂ de 135,536 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ y su densidad de madera es relativamente alta con 0,820 g/cm^3 , pero las siguientes especies *Inga stenoptera* y *Garcinia macrophylla* presentan densidad de madera moderada con 0,58 y 0,670 g/cm^3 respectivamente, y el flujo de CO₂ promedio de ambas especies son totalmente diferentes, la primera con 126,380 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ y la segunda con 12,009 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, indicando que no existe relación entre estas dos variables.

La figura 9, muestra entre estas dos variables una leve tendencia a relacionarse positivamente, donde a mayor densidad de madera mayor flujo de CO₂, este resultado rechaza completamente nuestra hipótesis esperada, (que a menor densidad de madera mayor flujo de CO₂). Nuestro resultado es totalmente opuesto a lo que esperábamos y puede decirse que la relación positiva no es una relación fuerte, sino es una relación débil o casi inexistente porque su resultado según el test de Spearman es muy cercano a cero, con 0,18. Esto indica que la densidad de madera no afecta ni está relacionada al flujo de CO₂ por los fustes de los árboles.

Cuadro 6. Promedio del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles más la densidad de madera por especie

N° de sp.	Especie	Flujo de CO ₂ (μmol/m ² /min)	Densidad de madera
1	<i>Macrolobium huberianum</i>	184,662	N/A
2	<i>Triplaris weigeltiana</i>	158,544	0,490
3	<i>Licania heteromorpha</i>	135,536	0,820
4	<i>Inga stenoptera</i>	126,380	0,580
5	<i>Symphonia globulifera</i>	104,022	0,620
6	<i>Pterocarpus amazonum</i>	95,731	0,510
7	<i>Sacoglottis ceratocarpa</i>	90,205	0,800
8	<i>Macrolobium multijugum</i>	89,759	0,710
9	<i>Hydrochorea corymbosa</i>	88,119	0,470
10	<i>Amanoa sinuosa</i>	85,490	0,830
11	<i>Ormosia coccinea</i>	81,979	0,630
12	<i>Vatairea guianensis</i>	79,588	0,670
13	<i>Nectandra sp</i>	78,856	0,540
14	<i>Terminalia oblonga</i>	74,159	0,700
15	<i>Eschweilera bracteosa</i>	73,101	0,820
16	<i>Elaeoluma glabrescens</i>	69,104	0,770
17	<i>Eschweilera ovalifolia</i>	68,627	0,860
18	<i>Eschweilera albiflora</i>	62,870	0,860
19	<i>Cecropia latiloba</i>	57,862	0,330
20	<i>Matayba sp</i>	57,077	0,820
21	<i>Macrolobium acaciifolium</i>	55,684	0,550
22	<i>Inga sp.</i>	52,591	0,645
23	<i>Tabebuia insignis</i>	49,523	0,530
24	<i>Hevea guianensis</i>	46,471	0,570
25	<i>Astrocaryum jauari</i>	46,309	0,510
26	<i>Diospyros poeppigiana</i>	42,555	0,600
27	<i>Platycarpum orinocense</i>	41,631	0,650
28	<i>Mauritia flexuosa</i>	41,258	0,460
29	<i>Calophyllum brasiliense</i>	32,578	0,590
30	<i>Pachira brevipes</i>	27,836	0,560
31	" <i>Licania licaniiflora</i>	22,824	0,670
32	<i>Parkia sp</i>	13,783	0,450
33	<i>Garcinia macrophylla</i>	12,009	0,670

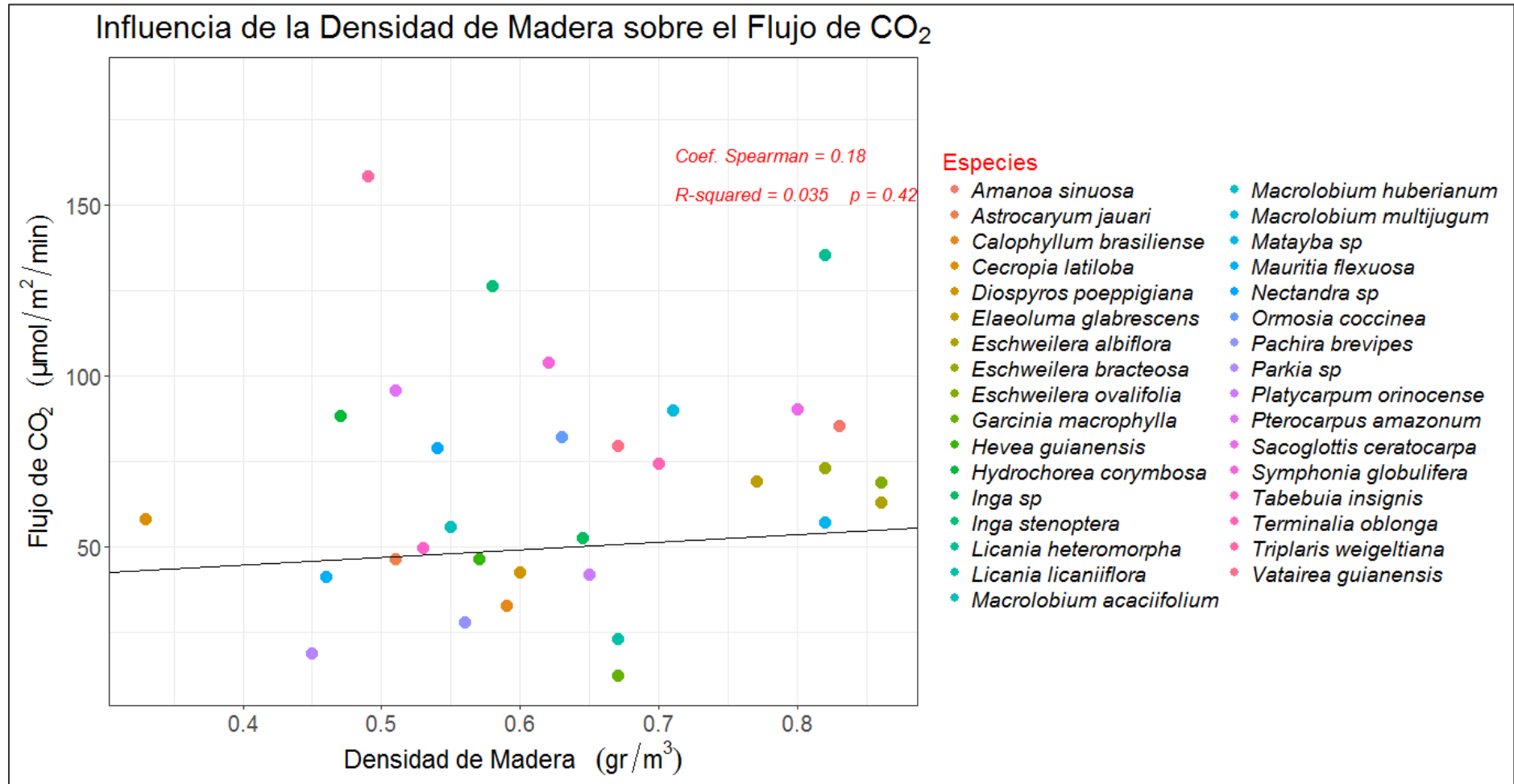


Figura 9. Relación entre la densidad de madera y el flujo de CO₂ a nivel de especie.

9.4. Variación significativa del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las seis parcelas evaluadas

En el cuadro 7, Se observa los valores de significancia, entre las parcelas, obtenidos mediante el test- T Pairwise. La parcela de BVA_01 presenta diferencia significativa con respecto a las demás parcelas, pero con mayor significancia con las parcelas de la turbera de San Jorge.

Cuadro 7. Valores de significancia, entre las parcelas, conforme al test de-T Pairwise

	BVA_01	BVA_02	QUI_01	QUI_02	SJO_01
BVA_02	0,00849	-	-	-	-
QUI_01	0,00898	0,91592	-	-	-
QUI_02	0,01460	0,78217	0,85976	-	-
SJO_01	0,00018	0,29435	0,23326	0,17157	
SJO_02	9,8e-05	0,22767	0,17550	0,12614	0,86961

9.5. Relación del flujo de CO₂ por los fustes de los árboles entre las especies de las turberas evaluadas

En nuestra hipótesis planteamos que la densidad de madera afecta al flujo de CO₂; y, que además, a menor densidad de madera, mayor flujo de CO₂ obtendríamos, pero esto es totalmente rechazado en nuestros resultados, comprobamos que la densidad de madera no afecta al flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las turberas amazónicas, al no afectar, se considera que no tiene relación alguna, porque el P-Valor rechaza nuestra hipótesis alterna con una valor superior al valor de significancia de 0,05 Además, la especie que presenta mayor flujo de CO₂ por los fustes de los árboles de las tres turberas estudiadas es la especie *Macrolobium*

huberianum, con 184,662 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ siendo la única especie en este proyecto que no cuenta con información de densidad de madera, por lo cual, se me imposibilita obtener esta relación de confirmación, que además sería un caso innecesario por confirmar con el Test de Spearman la relación inexistente entre estas dos variables (Figura 9).

En el cuadro 8, se visualiza la especie *Eschweilera ovalifolia* con 214,189 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ y *Garcinia macrophylla* con 12,010 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ son especie de mayor y menor flujo de CO_2 respectivamente en la turbera de Buena Vista, en Quistococha la especie *Tabebuia insignis* representa mayor flujo de CO_2 con 250,800 y el menor con 14,110 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ en diferentes individuos, la especie *Platycarpum orinocensis* con 139,930 y 9,290 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ representa mayor y menor flujo de CO_2 en la turbera de San Jorge. Esto muestra de manera general que el Flujo de CO_2 por los fustes de los árboles no está relacionada con la especie.

Cuadro 8. Mayor y menor flujo de CO_2 por los fustes de los árboles en relación a la especie en las turberas evaluadas

Turbera	Flujo de CO_2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$			
	Mayor		Menor	
BVA	<i>Eschweilera ovalifolia</i>	214,189	<i>Garcinia macrophylla</i>	12,010
QUI	<i>Tabebuia insignis</i>	250,800	<i>Tabebuia insignis</i>	14,110
SJO	<i>Platycarpum orinocensis</i>	139,930	<i>Platycarpum orinocensis</i>	9,290

La figura 10, presenta la relación de las 33 especies de forma ordenada de mayor a menor flujo de CO_2 por los fustes de los árboles de las turberas evaluadas.

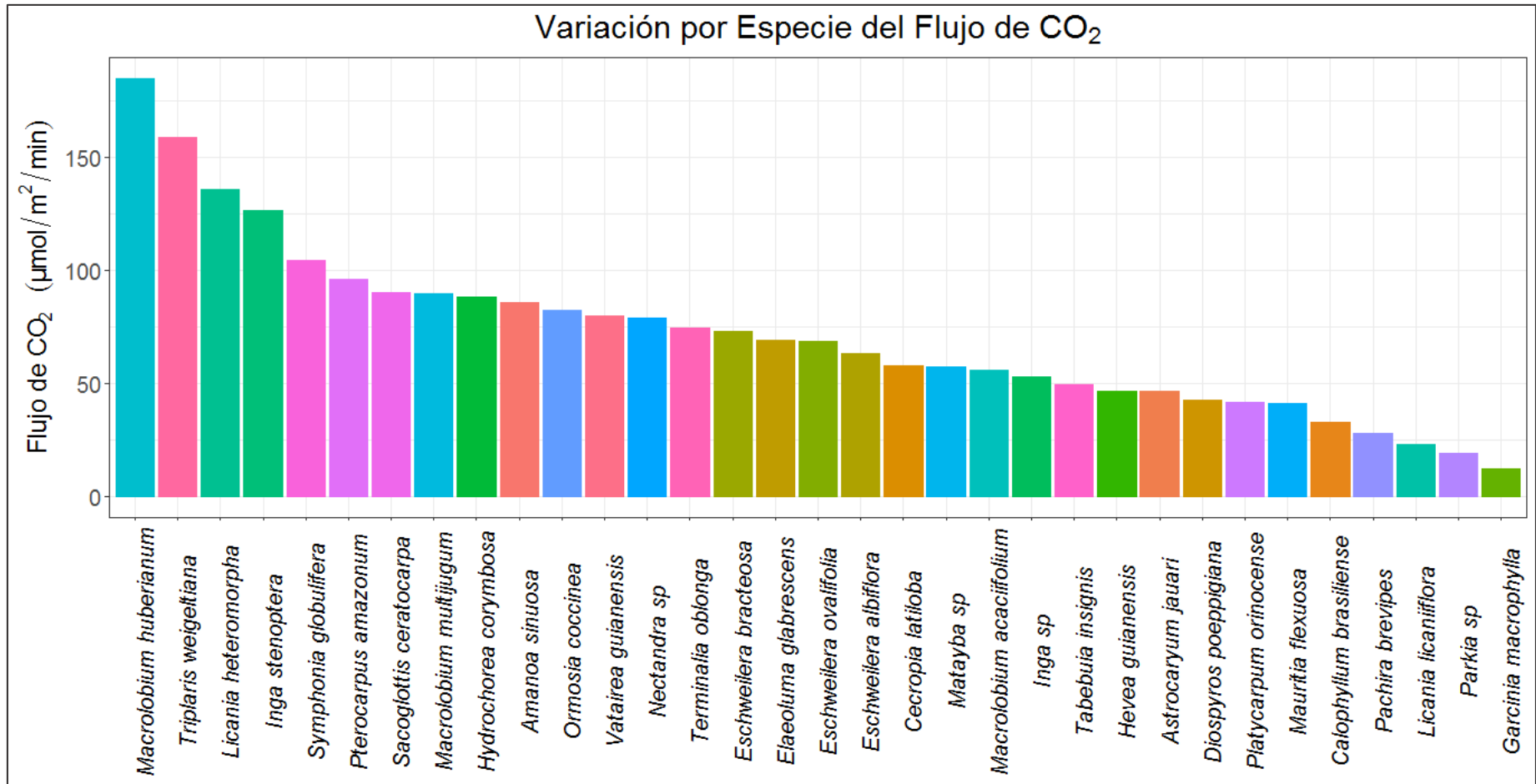


Figura 10. Muestra todas las especies evaluadas de las 3 turberas, resaltando las especies con mayor y menor flujo de CO₂ por los fustes de los árboles.

X. DISCUSIÓN

10.1. Flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las tres turberas estudiadas

El cuadro 5 muestra el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles, es mayor en la turbera de Buena Vista con 70,779 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, siendo el promedio de las dos parcelas; sin embargo, la parcela de BVA_01 tiene 85,828 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ y BVA_02 53,679 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, presentándose en BVA_01 mayor tenencia de flujo de CO₂ a pesar de encontrarse en la misma turbera, ¿por qué puede variar el flujo de CO₂ entre estas dos parcelas encontrándose en la misma ubicación?, puede darse por diversos factores: topografía del terreno que sería influyente en el nivel del agua, variables ambientales, estación del año, geoquímica de los suelos que al parecer no es homogénea, haciéndose notar en la vegetación, la parcela de BVA_01 presenta vegetación tupida alta y BVA_02 vegetación con presencia de claro, esto puede ser por la presión antropogénica que la zona presenta.

En la parcela de BVA_01 se determinó mayor diversidad con 17 especies arbóreas, *Triplaris weigeltiana* comúnmente llamada “tangarana”, es la especie con mayor flujo de CO₂ con 170,208 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ y con menor la especie *Astrocaryum jauari* de nombre común “Chambira” con 46,309 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$. La parcela de BVA_02 cuenta con 12 especies arbóreas, es diversa pero no igual a BVA_01 que es superior en vegetación. *Macrobium huberianum* presenta el mayor flujo de CO₂ con 184,662 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ y con menor la especie *Garcinia macrophylla* con 8,64 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, indicando una alta variación del flujo de CO₂ y haciendo que el flujo promedio indique mayor amplitud en la turbera de Buena Vista. En la turbera de Quistococha el flujo de CO₂ es de 55,984 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, presentando resultados

similares en ambas parcelas, QUI_01 con 54,953 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ y en QUI_02 57,015 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, esto puede ser porque ambas parcelas están siendo nitrificadas con las aguas del lago Quistococha, haciéndose que la vegetación sea homogénea. En la parcela de QUI_01 se determinaron tres especies *Mauritia flexuosa*, *Tabebuia insignis* y *Symphonia globulifera*, presentando 43,912, 48,449 y 98,009 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ respectivamente, siendo la última especie la que presenta mayor flujo de CO_2 , en la parcela de QUI_02 las especies arbóreas son 6, obteniendo el mayor flujo de CO_2 *Symphonia globulifera* con 112,039 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ y con menor flujo *Mauritia flexuosa* con 40,380 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$.

Con respecto a San Jorge la turbera presenta un flujo de CO_2 promedio de 40,045 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$. La parcela de SJO_01 con 41,003 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ y SJO_02 con 39,086 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, teniendo una similitud en sus resultados y pocas especies arbóreas al igual que Quistococha, La especie *Platycarpum orinocense* presenta el mayor flujo de CO_2 en SJO_01 y en SJO_02, con 41,287 y 42,468 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ respectivamente, *Calophyllum brasiliense* y *Pachira brevipe* son las especies de menor flujo de CO_2 en SJO_1 y SJO_02 con 31,191 y 27,836 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, aunque no sean representativas como *Maurita flexuosa* que tiene un flujo de CO_2 promedio de 39,265 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$.

10.2. Flujo de CO_2 por los fustes de los árboles en las turberas de Buena Vista, Quistococha y San Jorge con geoquímica rica, intermedia y pobre

La figura 8, presenta que la geoquímica del suelo indirectamente está relacionada con el flujo de CO_2 por los fustes de los árboles en estas tres turberas evaluadas y Porlles (2011), confirma mis resultados en la respiración del componente suelo,

mencionando que los suelos con mayor materia orgánica; es decir, ricos en nutrientes, emiten mayor carbono, a través de la respiración. Malhi *et al.*, (2013), en sus estudios de la Reserva de Tambopata-Candamo, en la región de Madre de Dios, Perú, incluye la posibilidad de que el CO₂ derivado del suelo afecte a las mediciones del flujo de salida del CO₂ de los fustes. Es decir que la geoquímica y los patrones ambientales del suelo infieren en las emisiones del flujo de CO₂. También Ryan *et al.*, (1995), menciona que la temperatura y la emisión de CO₂ están generalmente relacionadas de manera exponencial; sin embargo, Porlles (2011), en sus resultados afirma que la temperatura ni la humedad del suelo están correlacionadas con el flujo de CO₂ de los suelos.

10.3. Relación de la densidad de madera de las especies con el Flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las tres turberas evaluadas

No existe relación alguna entre el flujo de CO₂ y la densidad de madera como se observa en la figura 9, suponiendo que falta consistencia en los datos de densidad de madera, porque estos datos son a nivel general, mas no regional, ni local; por lo tanto, estos datos de densidad de madera no pueden ser utilizados para todo tipo de bosque. Chave, (2002), afirma que la densidad de la madera es una característica que varía dentro de un mismo individuo, con la edad de la planta y otros factores; Chambers *et al.*, (2004), confirma estos resultados, que la variación del flujo de CO₂ no solo es por la diferencia de especies; ya que dentro de la misma especie la variación es bastante alta; como sucede en los resultados con la especie *Tabebuia insignis*, que presenta un mayor y menor flujo de CO₂ con 250,800 y 14,110 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$ respectivamente; entonces, se entiende que tomar datos de

densidad de madera de Zanne *et al.*, (2009), que podrían estar bien, afectó la identificación taxonómica local de las especies identificadas en estas turberas.

Esto no indica que el flujo de CO₂ tenga otras variables determinantes dentro de la madera. Rodríguez (2015), indica que el flujo de CO₂ no se difunde ni instantáneamente ni en su totalidad al exterior, porque existen barreras físico-químicas que limitan la difusión hacia la atmosfera, más en Teskey & McGuire 2007, señala que una parte del CO₂ existente en el fuste se disuelve en la savia y es transportado hacia la parte superior del árbol gracias a la transpiración, también porque una parte del CO₂ que se origina en las raíces o incluso en el suelo viajan en la savia hacia el fuste y es por ello que se puede sobrestimar la respiración de los fustes, a partir de la tasa de emisión de CO₂.

10.4. Flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en relación a las especies de las tres turberas evaluadas

El total de individuos evaluados fueron 150 de 33 especies, donde los resultados del flujo de CO₂ no es uniforme; es decir, que varía por cada individuo en los meses evaluados, concluyendo que la relación del flujo de CO₂ no está relacionado con la especie. Estos resultados fueron similares a los de Asao *et al.* (2016), donde indica la variación de la tasa de emisión de CO₂ de la madera está relacionado principalmente con el tamaño de la madera, y poco con la especie, la capa de dosel o la altura.

XI. CONCLUSIONES

- La turbera de Buena Vista presenta un mayor flujo promedio de CO₂ con 70,779 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, Quistococha un flujo intermedio, con 55,984 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, y San Jorge un flujo de CO₂ inferior, con 40,045 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$.
- La geoquímica de los suelos afecta indirectamente al flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en las turberas amazónicas, a mayor geoquímica en el suelo mayor flujo de CO₂.
- La densidad de madera no afecta al flujo de CO₂ negativamente; al contrario, afecta positivamente pero el grado de relación no es tan significativa, teniendo como resultado en el test de spearman 0,18.
- El flujo de CO₂ por los fustes de los árboles vario notablemente en la parcela de BVA_01 con respecto a las demás parcelas, y con las parcelas de San Jorge presenta mayor significancia aún.
- El flujo de CO₂ varió entre las especies, teniendo a *Macrolobium Huberianum* como la especie con mayor flujo de CO₂ con 184,662 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$. y *Garcinia macrophylla* la especie con menor flujo de CO₂ con 12,009 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$.
- En la turbera de Buena Vista la especie con mayor flujo de CO₂ le corresponde a *Eschweilera ovalifolia*, con 214.89 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$, mientras que con menor valor de flujo de CO₂ es *Garcinia macrophylla* (12,009 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$).
- En la turbera de Quistococha la especie *Tabebuia insignis* presenta mayor y menor flujo de CO₂, con 250,80 y 14,11 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{min}$.

- En la turbera de San Jorge al igual que de Quistococha solo una especie presenta mayor y menor flujo CO₂, *Platycarpum orinocense* siendo mayor con 139,93 μmol/m²/min y menor con 9,29 μmol/m²/min.
- El flujo de CO₂ vario entre individuos de la misma especie, así mismo, se puede afirmar que estas dos variables no están relacionadas, porque se determinó que *Tabebuia insignis*, *Platycarpum orinocense*, *Mauritia flexuosa* y otras especies presenta un flujo de CO₂ mayor y menor a la vez.

XII. RECOMENDACIONES

- Conocer y evaluar un componente principal del ciclo del carbono en un ecosistema de turbera es de mucha significancia; porque, son bosques que a nivel mundial solo representan una minoría, pero; sin embargo, albergan gran cantidad de carbono.
- El efecto que las variables independientes ocasionan en las variables dependientes es importante para determinar la valoración de estos tipos de bosques de turberas.
- Determinar si la geoquímica de los suelos y la densidad de madera afectan al flujo de CO₂ por los fustes de los árboles nos servirá como antecedentes para posteriores investigaciones con respecto al ciclo global del carbono, y reconocer que a mayor geoquímica de los suelos mayor flujo de CO₂ por los fustes de los árboles, dando a entender que debemos cuidar con mucho más interés aquellas turberas minerotrófica porque estas presentan mayor flujo de CO₂, sin dejar expuestos a las turberas ombrotrofica.
- La densidad de madera es una variable que no influye en el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles según nuestros resultados, y se recomienda, que la densidad de madera es una variable específica y que si se pretende relacionar esta variable con otra debe hacerse por cada individuo, porque cada individuo tiene diferentes patrones y depende también de la ubicación y el tipo de bosque, porque, si no los datos no son de confiabilidad.
- Tener conocimiento de los protocolos anexados en este proyecto para saber manejar con cuidado los equipos utilizados, siguiendo los pasos para lograr obtener resultados consistentes y verídicos.

- Acomodar los datos de forma ordenada, en carpetas de acuerdo a los meses de evaluación, para facilitar el orden de los resultados y tener menos posibilidades de que algún dato se pueda perder.
- Al realizar la evaluación es adecuado limpiar y ventilar las cámaras antes de las mediciones.
- Verificar si las cámaras se encuentran totalmente selladas en el caso de fustes, de no ser el caso, sellarlas con silicona y ajustar con ligas de jebe, dejar secar para posteriormente medir, recomendando dejar unos 20 minutos para recién tomar la medida de aquel individuo.
- Siempre es adecuado reservar un día para imprevistos como lluvias, accidentes, o también para ajustar las cámaras, que son movidas por la caída de árboles, por las termitas, entre otros.
- Para sellar las cámaras, procurar que la silicona no quede abultada dentro de la cámara porque resta los espacios del área de la cámara.
- Procurar que, al momento de analizar con el equipo, este no tome el CO₂ de la respiración del operador, porque afectan a las mediciones.
- Tener en cuenta los lugares donde se evaluarán, porque algunas comunidades no cuentan con fluido eléctrico, y los equipos funcionan con baterías que deben ser recargadas de acuerdo al tiempo de uso. Para este problema se puede contar con un generador, o comprar baterías de repuestos.
- Considerar el tiempo de evaluación, de caminata en una turbera, para realizar el plan de campo. Por ejemplo, en esta evaluación realizaba 4 árboles por horas como referencia.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, D. F., Farwell, S. O., Robinson, E., pack, M. R. Y Barnesberger, W. H. 1981. Biogenic sulfur source strengths. *Environ. Sci. & Techn.*, 15:1493-1498.
- Angert, J., Muhr, R., Negron, J., Alegria, W., Kraemer, G., Ramirez, J., Santillan, E. Barka, S., Maze, J., Chambers, Q., And Trumbore, S. E. 2012. Internal respiration of Amazon tree stems greatly exceeds external CO₂ efflux. Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. *Biogeosciences*, 9, 4979–4991.
- Asao, S., Bedoya-Arrieta, R. & Ryan, M. G. 2016. Variation in foliar respiration and wood CO₂ efflux rates among species and canopy layers in a wet tropical forest; *Tree Physiology* 35, 148–159 doi:10.1093/treephys/tpu107. Pp. 148-157.
- Benavides, J.C.; *Perturbaciones en las turberas de páramo: la acción del hombre y el clima*. Department of Botany and Plant Pathology, Oregon State University. CORVALLIS (OREGON) 97331 USA. CONTENIDO 81, 83, 85 Y 87.
- Broder, T., Blodau, C., Biester, H. & Knorr H. 2012. Peat decomposition records in three pristine ombrotrophic bogs in southern Patagonia. *Biogeosciences*, Pp. 1-13.
- Chambers, J. Q., Tribuzy, E., Toledo, L., Crispim, B.F., Higuchi, N., Dos Santos, J., Arau, A.C., Bart Kruijt., Nobre, A.D. And Trumbore, S.E. 2004. Respiration from a tropical forest ecosystem: partitioning of sources and low carbon use efficiency; *Ecological Applications*, 14(4) Supplement, 2004, pp. S72–S88 © 2004 by the Ecological Society of America; Pp. 77.
- Chave, J.; 2002; *Medición de densidad de madera en árboles tropicales*, manual de

- campo; Lab. Evolution et Diversité Biologique Université Paul Sabatier 31000 Toulouse, France. Pp. 1-7 [http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/wood_density_spanish\[1\].pdf](http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/wood_density_spanish[1].pdf)
- COP22; 2016; Iniciativa mundial de las turberas. <https://blog.cifor.org/47037/porque-deben-importarnos-las-turberas?fnl=es>.
- Díaz, M.F., Zegers, G., Larraín, J. 2005. Antecedentes Sobre La Importancia De Las Turberas y El Pompoñ En La Isla De Chiloé N° Pp. 11-17.
- Frazier, S. 1971. Visión General de los Sitios Ramsar Una sinopsis de los humedales de importancia internacional en el mundo. Wetlands international. <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Visgensitramint.pdf>
- Hill, B. M. & Siegel D. I. 1991. Groundwater flow and the metal content of peat, J. Hydrol., 123, 211–224, doi: 10.1016/0022-1694(91) 90091-U.
- Honorio, E. N. & Baker. T. R. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana / Universidad de Leeds. Pp. 7-45.
- Ibáñez & Manríquez. 2011. Histosoles (Turberas): Geografía, Ambiente y Paisaje. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/04/05/138702>.
- Iturraspe, R. & Roig, C.E. 2000. Aspectos hidrológicos de turberas de Sphagnum de Tierra del Fuego - Argentina. In: Coronato A & C Roig (eds) Conservación de ecosistemas a nivel mundial con énfasis en las turberas de Tierra del Fuego. Disertaciones y Conclusiones., Ushuaia, Argentina, Pp 85-93.
- Iturraspe, R. 2010. Las turberas de Tierra del Fuego y el Cambio Climático global, Dirección General de Recursos Hídricos, Secretaría de Desarrollo Sustentable y Ambiente, Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del

Atlántico Sur; Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales Representante de Wetlands International.

Ivanov, K.E. 1981. Water Moviment in Mirelands. Academic Press. Londres.

Jaramillo, V. 2004. El ciclo global del carbono; Instituto Nacional de Ecología y el Cambio climático. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/437/jaramillo.html>.

Joosten, H. & Clarke, D. 2002. Wise use of mires and peatlands. IMCG-IPS, Pp. 6-7.

Joosten, H. & Couwenberg, J. 2008. Peatlands and carbon. Pp 99-117. In: PARISH, F. Sirin, A. Charman, D. Joosten, H. Minayeva, T.Silvius, M. & L. Stringer (EDS.). Assessment on peatlands, biodiversity and climate change: main report. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.

Kelly, T. J., Baird, J., Roucoux, K. H., Baker. T. R., Honorio, E. N., Ríos. M. And. Lawson, I. T. 2013. The high hydraulic conductivity of three wooded tropical peat swamps in northeast Peru: measurements and implications for hydrological function; Pp 1-31.

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., Ruokolainen, K., Schulman, L., Alvarez, J. 2009b. Amazonian floodplains arbor minerotrophic and ombrotrophic peatlands; *Catena* 79 (2009) Pp. 140–145.

Lähteenoja, O., Reátegui, Y., Räsänen, M., Del Castillo, D., Oinonen, M., & Page,S.

2012. The large Amazonian peatland carbon sink in the subsiding Pastaza-Marañón foreland basin, Peru. *Global Change Biology*: doi: 10.1111/j.1365-486.2011.02504.x.Pp. 1-15.

Lavelle, P., Dangerfield, C., Frangoso, V., Eschenbrenner, D., López, y., Pashanasi, B., Brussard, L. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. N° Pág. 137-169. In: Noomer, P. and Swift, M. The management of the tropical soil biology and fertility. Wiley-sayce publicaciones.

Manual De Instrucciones Medioambiental Gas Hound Modelo – Li 800 CO₂ Analyzer LICOR División; Copyright 1998, LI-COR, Inc. Publication Number 9810-123. E-mail: envsales@env.licor.com www.licor.com.

Malhi, Y., Farfán, F., Doughty, C. E., Silva-Espejo, J. E., Cécile A.J., Metcalfe, D. B., Aragão, L. O., Huaraca-Quispe, L. P., Alzamora-Taype, I., Eguiluz-Mora, L., Marthews, T. R., Halladay, K., Quesada, C., Robertson, A. L., Fisher, J. B., Zaragoza-Castells, J. Rojas-Villagra, M., Pelaez-Tapia, P., Salinas, N., Meir P. & Phillips, O. L. 2013. The productivity, metabolism and carbon cycle of two lowland tropical forest plots in south-western Amazonia, Peru, *Plant Ecology & Diversity*, DOI: 10.1080/17550874.2013.820805. Pp.1-23.

Marthews, T. R., Riutta, T., Oliveras, M. I., Urrutia, R., Moore, S., Metcalfe, D., Malhi, Y., Phillips, O., Huaraca, H. W., Ruiz, J. M., Girardin, C., Butt, N., Cain, R., and colleagues from the RAINFOR and GEM networks. 2014. Measuring Tropical Forest Carbon Allocation and Cycling: A RAINFOR-GEM Field Manual for Intensive Census Plots (v3.0). Manual, Global Ecosystems Monitoring network, <http://gem.tropicalforests.ox.ac.uk/>.

McGuire, M. A. & Teskey, R. O. 2004. Estimating stem respiration in trees by a mass

- balance approach that accounts for internal and external fluxes of CO₂; © 2004 Heron Publishing—Victoria, Canada; *Tree Physiology* 24, 571–578.
- Muhr, J., Angert, A., Robinson, I., Negrón-Juárez., Alegria, W., Kraemer, G., Chambers, J. Q. And Trumbore, S. 2013. Carbon dioxide emitted from live stems of tropical trees is several years old; *Tree Physiology* 00, 1–10 doi:10.1093/treephys/tpt049.
- Municipalidad distrital de San Juan Bautista. (2009-2012). Plan Estratégico Institucional. Pág. 5.
- Muñoz, M & Erias, A. 2017. En Marrakech el 17 de noviembre de 2016, se mencionó una nueva iniciativa global. Documento opinión. leee.es. Instituto Español de Estudios Estrategicos.
- ONER, (1976). Mapa ecológico del Perú, Guía Explicativa, Pp. 91-94
- Page, S. E., Siegert, F., Rieley, J. O., Hans-Dieter, V. B., Jaya, A. & Limink Suwido. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997; *Nature* 2002; Pp. 61-65.
- PORLLES, M. 2011. Flujo y Stock de Carbono de Suelos en Tres Tipos de Bosque de la Amazonia Peruana. Jenaro Herrera – Loreto. Pp. 33-48.
- Pontevedra Pombal, A., Martínez Cortizas, A.; P. Buurman. 2004. Las Turberas De Montaña De Galicia Como Sumideros De Carbono; Departamento de Edafología e Química Agrícola. Facultad de Biología. Universidade de Santiago de Compostela. Campus Sur s/n. 15782 Santiago de Compostela. Galicia. España. EDAFOLOGIA, Vol. 11 (3), Pp. 295-307, 2004.
- Quinteros, R. 2012. Conservación de Recursos Naturales Estado de conservación de relictos de *Pilgerodendron uviferum* en turberas del centro-norte de la Isla

Grande de Chiloé, Trabajo de Titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero.

Rante-Greenpeace. 2015. DESALAMBRE, Miles de incendios arrasan la selva de Indonesia por culpa del aceite de palma; eldiario.es; http://www.eldiario.es/desalambre/Terribles-incendios-Indonesia-empresas-aceite_0_454255403.html.

Ramsar, 1971. Humedales: agua, vida y cultura 8a. Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención sobre los Humedales Valencia.

Rengifo, E. & Campos, J. 2007. Perfil de plan de manejo de palo de rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). Localidad de Tamshiyacu, distrito de Fernando Lores. Provincia de Maynas, departamento de Loreto Perú. Pp. 6 y 7.

Rocheftort L. 2000. Sphagnum - A Keystone Genus in Habitat Restoration. *The Bryologist* 103:503-508.

Rodríguez-Calcerrada., Roberto Salomón & Luis Gil. Transport and recycling of CO₂ inside trees - factors complicating the estimation of wood respiration through CO₂ radial efflux.

Roig, C. 2004. Antecedentes sobre turberas en Tierra del Fuego. En: Blanco, D.E. y de la Balze, V.M. (eds.) *Los Turbales de la Patagonia, bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad*, Fundación humedales/wetlands International, Buenos Aires, Argentina, Pp. 33–44.

Roig, C. & Roig, F. 2004. Condiciones Generales, Terminología y conceptos adoptados. Capítulo 1.

Ryan MG, ST Gower, RM Hubbard, RH Waring, HL Gholz, WP Jr Cropper, SW

- Running. 1995. Woody tissue maintenance respiration of four conifers in contrasting climate. *Oecologia* 101: 133-140.
- Ryan, M.G., Lavigne, M.B., Gower, S.T. 1997. Annual carbon cost of autotrophic respiration in boreal forest ecosystems in relation to species and climate. *J Geophys Res* 102:28871–28883.
- Schulman, L., Ruokolainen, K., Tuomisto, H. 1999. Parameters for global ecosystem models. *Nature*, 399, 535–536.
- Teskey RO, MA McGuire. 2007. Measurement of stem respiration of sycamore (*Platanus occidentalis* L.) trees involves internal and external fluxes of CO₂ and possible transport of CO₂ from roots. *Plant, Cell & Environment* 30: 570-579.
- Teskey, R. O., Saveyn, A., Steppe, K. And McGuire, M. A. 2008. Origin, fate and significance of CO₂ in tree stems, *New Phytol.*, 177, 17–32, doi:10.1111/j.1469-8137.2007.02286.x,
- Vapaavuori, E. M. & Pelkonen, P. 1985. HCO₃ uptake through the roots and its effect on the productivity of Willow cuttings, *Plant Cell Environ.*, 8, 531–534.
- Zanne, A.E., López-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., And Chave, J. 2009. Global wood density database. *Dryad*. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

Páginas web:

<http://www.areatecnologia.com/materiales/madera.html>.

<https://www.sgm.gob.mx>

<https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe%20Turba%20VF.pdf>

<http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL1341.pdf>

XIV. ANEXO

Figura 11. Mapa de ubicación de las turberas estudiadas

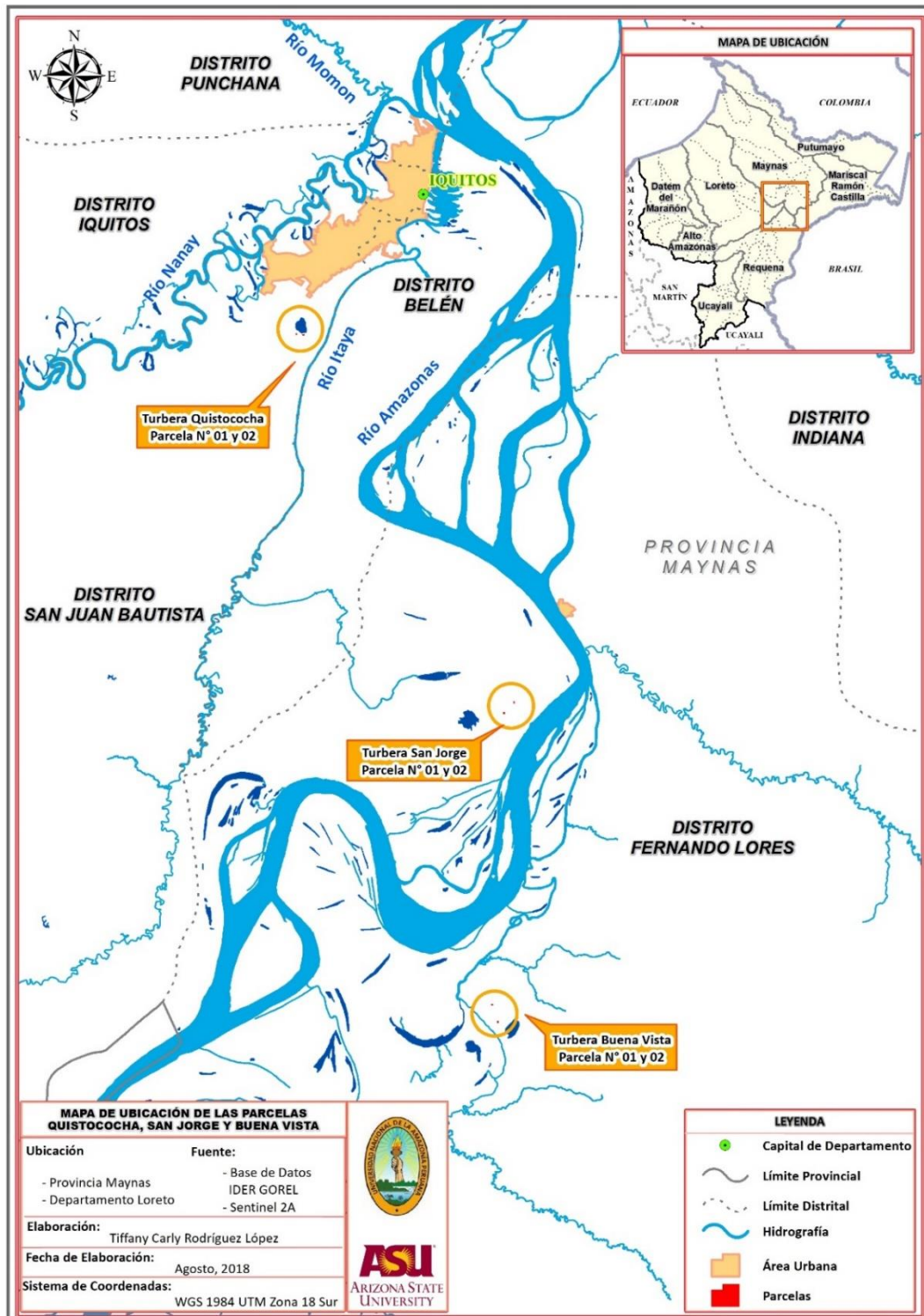


Figura 12. Ubicación de las parcelas de Buena vista.

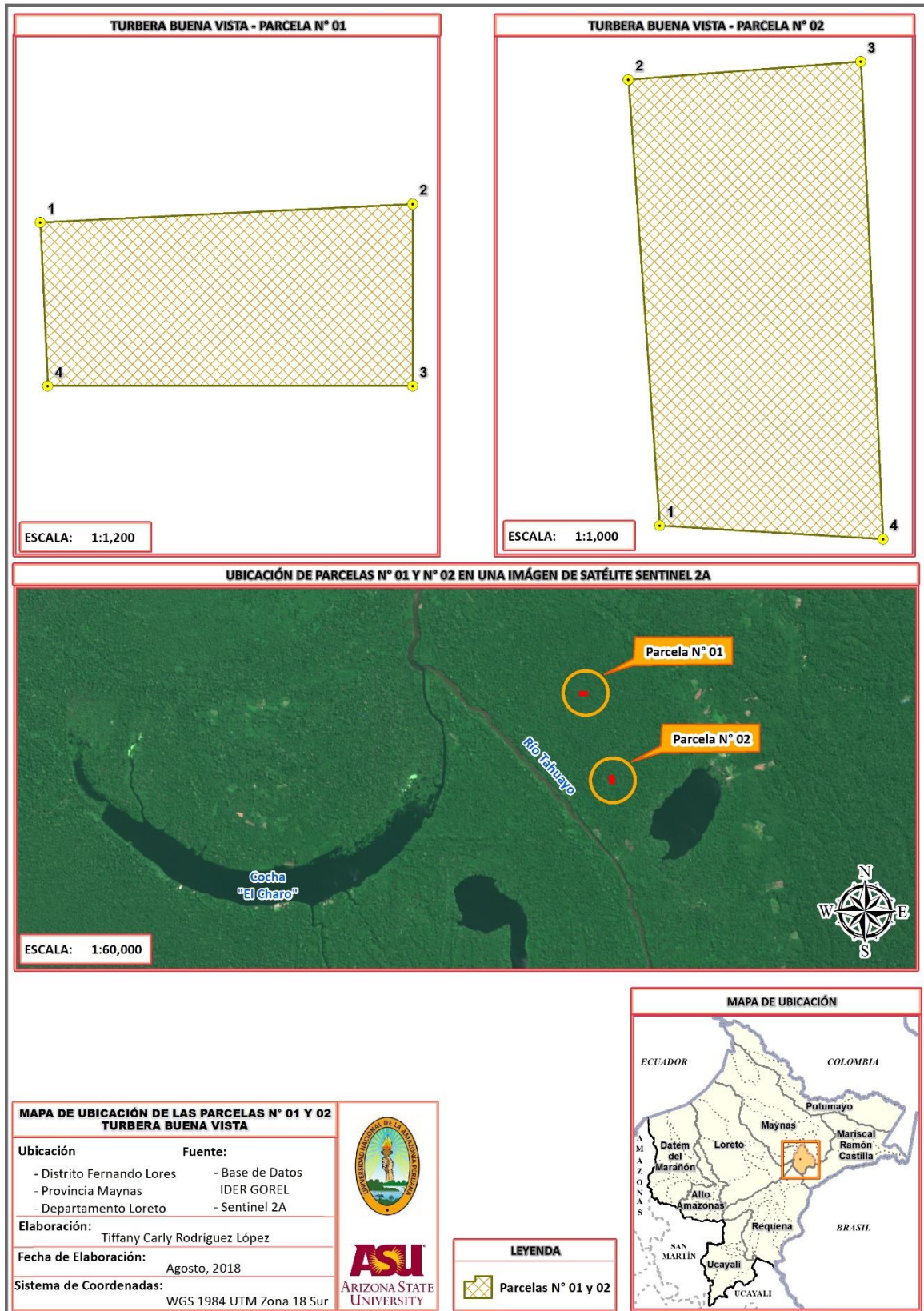


Figura 13. Ubicación de las parcelas de Quistococha.

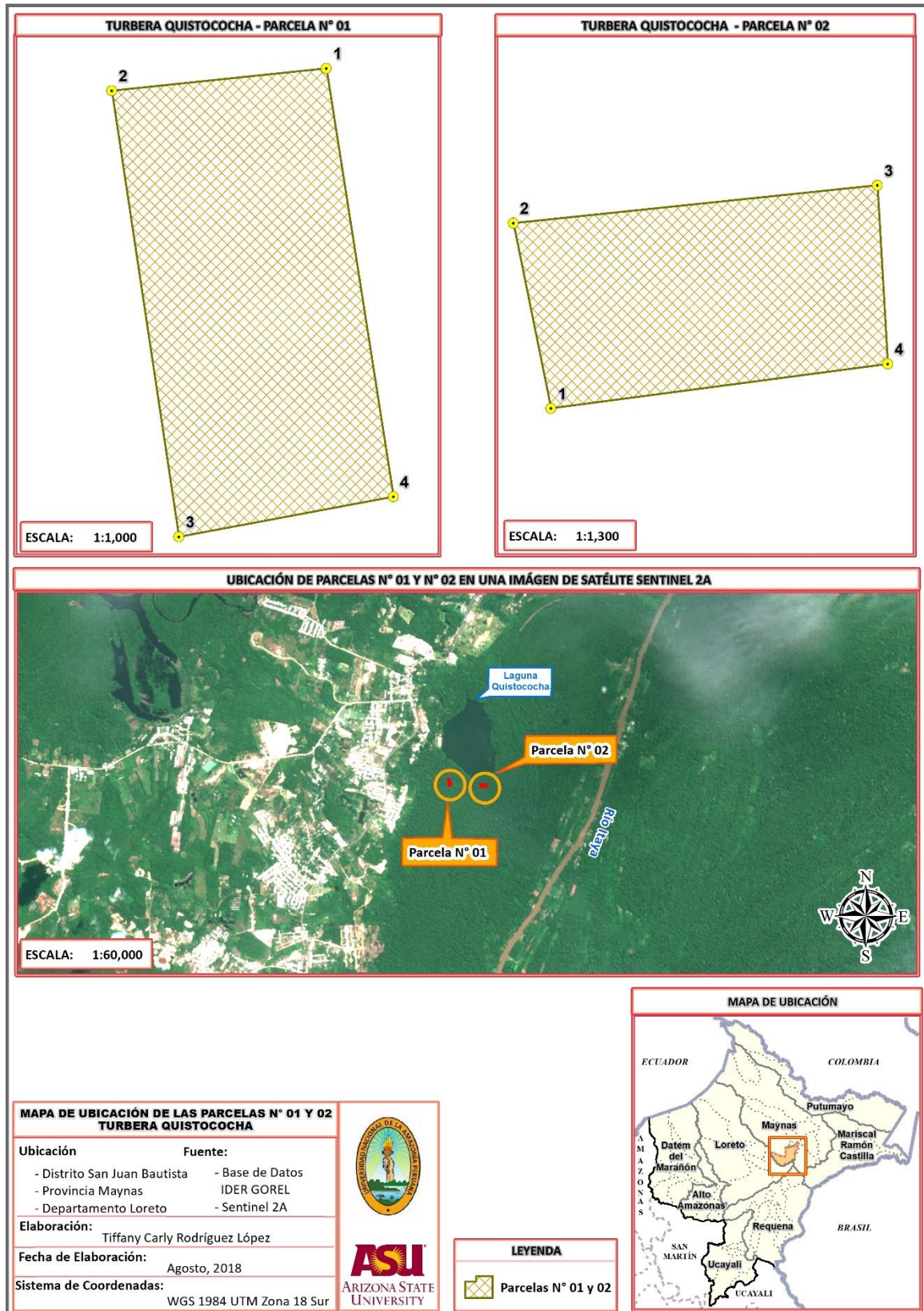


Figura 14. Ubicación de las parcelas de San Jorge.

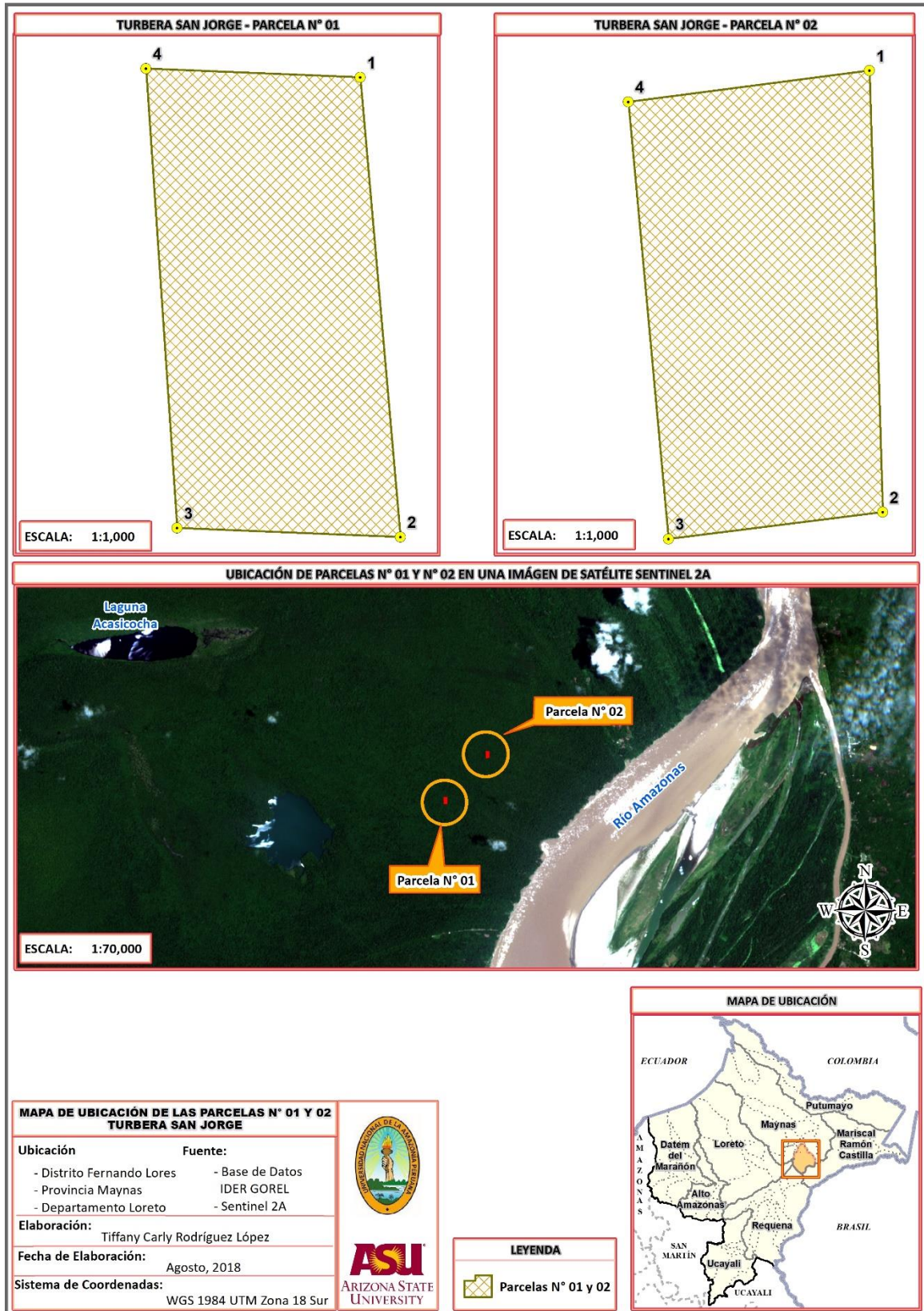




Figura 15. Lago de Quistococha y su abundante vegetación

Figura 16. Dosel del bosque de Quistococha, Especie que más abunda es la Mauritia Flexuosa.



Figura 17. Lo difícil de caminar en un bosque de turberas.



Figura 18. La turbera de Quistococha cuando se inunda por las lluvias.

Figura 19. Turbera de Buena Vista, árbol del renaco, predominante en este bosque.

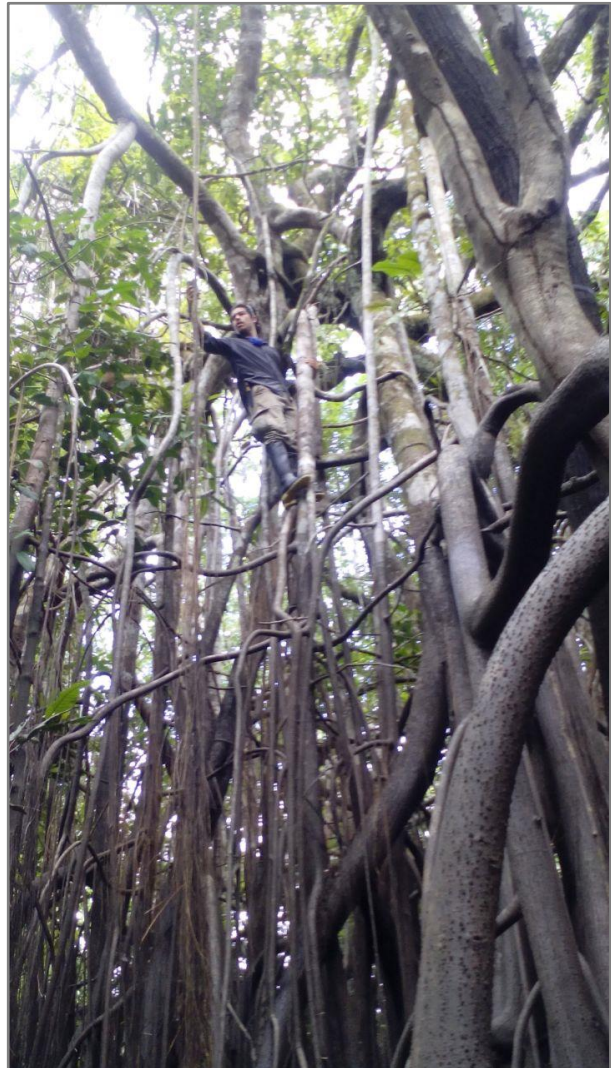




Figura 20. Las cámaras de evaluación para medir el flujo de CO₂ en los fustes de los árboles en parcelas permanentes.

Figura 21. Programando al equipo Gas Hound Li-800, para medir el flujo de CO₂ por los fustes de árboles.

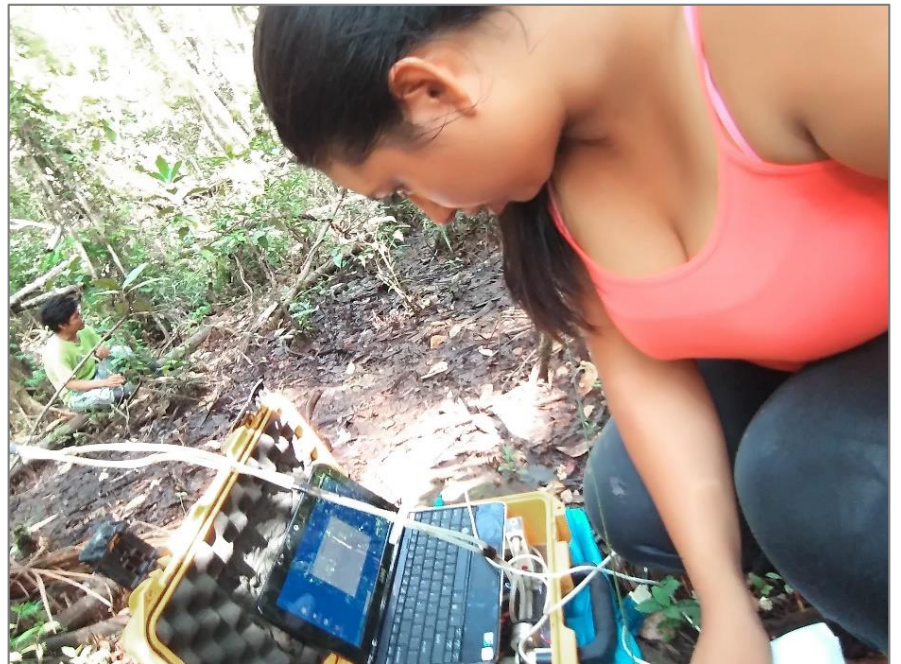


Figura 22. Horizontes de una turbera.

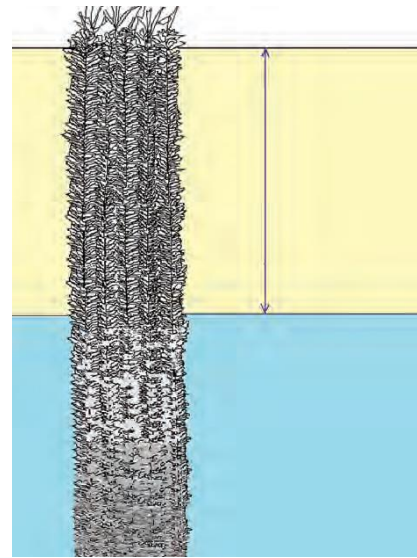
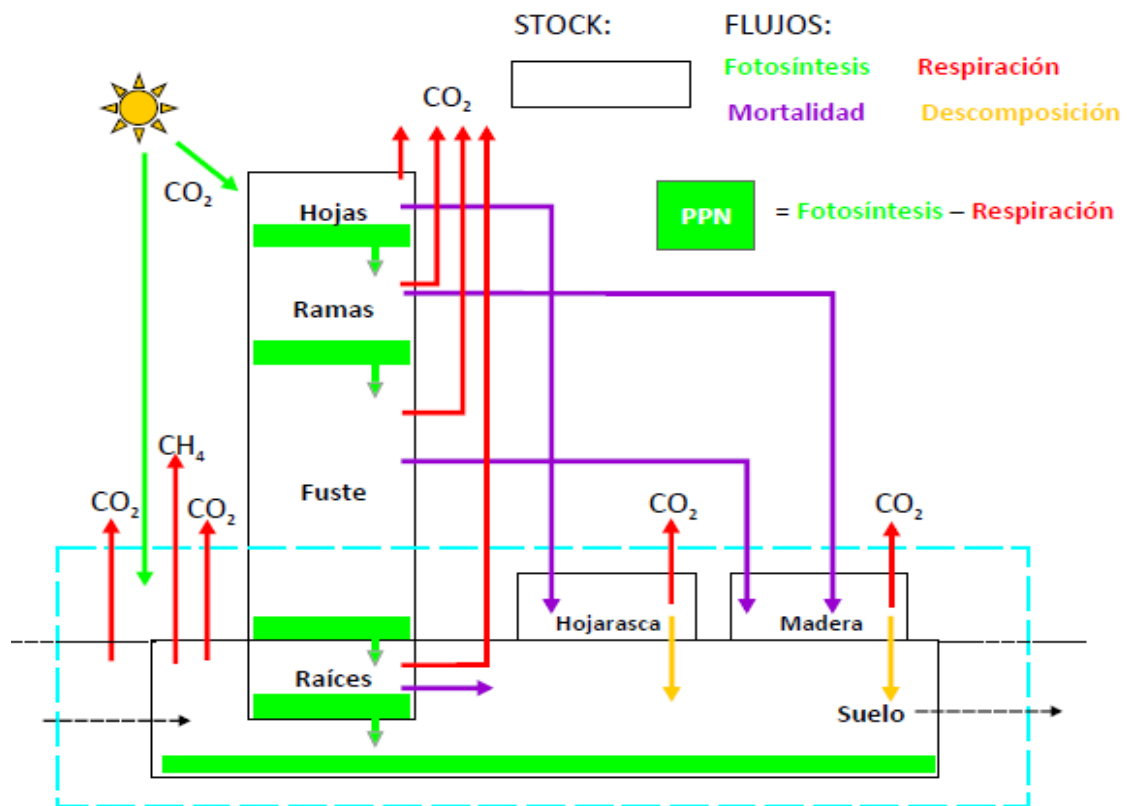


Figura 23. Diagrama de los stock y flujos de carbono en un bosque tropical que podría estar estacionalmente inundado (Honorio & Baker 2010).



Anexo 1. Formato de Campo que se utilizó para medir el flujo de CO2 por los fustes de los árboles en la parcela de BVA_01

# de arbol	nombre de archivo	hora de muestreo	Especie de arbol	si inundado	estado de arbol		Camara		Temperatura	Presión atmosférica	Notas
				ALTURA TUBO	sano	enfermo o muerto	con termitas: (si no)	sello: suave o duro			
17	17		Inga stenoptera								
	17-2										
20	20		Macrobium acaciifolium								
	20-2										
39	39		Vatairea guianensis	140.00							
	39-2										
47	47		Matayba indet								
	47-2										
86	86		Astrocaryum jauari	150.00							
	86-2										
100	100		Terminalia oblonga	160.00							
	100-2										
107	107		Elaeoloma glabrescens	140.00							
	107-2										
115	115		Eschweilera albiflora	130.00							
	115-2										
141	141		Elaeoloma glabrescens	180.00							
	141-2										
146	146		Amanoa sinuosa	175.00							
	146-2										
164	164		Matayba indet	170.00							
	164-2										
196	196		Eschweilera ovalifolia	135.00							
	196-2										
213	211			180.00							
	211-2										
212	212		Matayba indet	180.00							
	212-2										
231	231		Cecropia latiloba	150.00							
	231-2										
246	246		Amanoa sinuosa	160.00							
	246-2										
287	287			160.00							
	287-2										
302	302		Nectandra indet	160.00							
	302-2										
307	307		Matayba indet	160.00							
	307-2										
332	332		Hydrochorea corymbosa	150.00							
	332-2										
364	364		Pterocarpus amazonum	160.00							
	364-2										
376	376		Matayba indet	160.00							
	376-2										
389	389		Diospyros poeppigiana	160.00							
	389-2										
407	407		Triplaris weigeltiana	160.00							
	407-2										
423	423		Elaeoloma glabrescens	110.00							
	423-2										

Anexo 3: Formato de Campo que se utilizó para medir el flujo de CO₂ por los fustes de los árboles en la parcela de QUI_01

# de arbol	nombre de archivo	hora de muestreo	Especie de arbol	si	estado	Camara			Temperatura	Presión atmosférica	Notas
				inundad	de arbol	enfem	con	sello:			
				ALTUR	sano	o o	termitas:	suave o			
				A TUBO		muerto	(si no)	duro			
3	3		Tabebuia insignis	1.60							
	3 - 2.										
22	22		Symphonia globulifera	1.70							
	22 - 2.										
39	39		Tabebuia insignis	1.50							
	39 - 2										
42	42		Mauritia flexuosa	1.40							
	42 - 2										
80	80		Tabebuia insignis	1.60							
	80 - 2										
84	84		Tabebuia insignis	1.50							
	84 - 2										
96	96		Tabebuia insignis	1.30							
	96 - 2										
100	100		Tabebuia insignis	140.00							
	100 - 2										
122	122		Tabebuia insignis	1.30							
	122 - 2										
150	150		Mauritia flexuosa	1.30							
	150 - 2										
171	171		Mauritia flexuosa	1.40							
	171 - 2										
189	189		Mauritia flexuosa	1.40							
	189 - 2										
220	220		Mauritia flexuosa	1.30							
	220 - 2										
225	225		Symphonia globulifera	1.30							
	225-2										
237	237		Tabebuia insignis	1.40							
	237 - 2										
247	247		Tabebuia insignis	1.30							
	247 - 2										
287	287		Mauritia flexuosa	1.40							
	287 - 2										
303	303		Tabebuia insignis	1.40							
	303 - 2										
326	326		Tabebuia insignis	1.50							
	326 - 2										
343	343		Mauritia flexuosa	1.50							
	343 - 2										
357	357		Tabebuia insignis	1.30							
	357 - 2										
364	364		Mauritia flexuosa	1.50							
	364 - 2										
386	386		Mauritia flexuosa	1.30							
	386 - 2										
391	391		Symphonia globulifera	1.30							
	391 - 2										
403	403		Tabebuia insignis	1.30							
	403 - 2										

Anexo 6: Formato de Campo que se utilizó para medir el flujo de CO2 por los fustes de los árboles en la parcela de SJO_02

parcela	# de arbol	nombre de archivo	hora de muestreo	Especie de arbol	si inundado	estado de arbol	Camara		Temperatura	Presión atmosférica	Notas
					ALTURA TUBO	sano	enfermo o muerto	con termitas : (si no)			
1	6019	19		Mauritia flexuosa	120						
		19-2									
	6035	35		Platycarpum orinocense	140						
		35-2									
2	6071	71		Platycarpum orinocense	130						
		71-2									
	6101	101		Pachira brevipes	131						
		101-2									
3	6139	139		Pachira brevipes	120						
		139-2									
	6150	150		Pachira brevipes	130						
		150-2									
4	6217	217		Mauritia flexuosa	130						
		217-2									
	6230	230		Mauritia flexuosa	140						
		230-2									
5	6244	244		Platycarpum orinocense	130						
		244-2									
	6254	254		Mauritia flexuosa	120						
		254-2									
6	6335	335		Pachira brevipes	120						
		335-2									
	6337	337		Mauritia flexuosa	120						
		337-2									
7	6349	349		Mauritia flexuosa	120						
		349-2									
	6356	356		Mauritia flexuosa	100						
		356-2									
8	6412	412		Calophyllum brasiliense	90						
		412-2									
	6444	444		Mauritia flexuosa	130						
		444-2									
9	6509	509		Mauritia flexuosa	120						
		509-2									
	6545	545		Platycarpum orinocense	130						
		545-2									
10	6600	606		Mauritia flexuosa	90						
		606-2									
	6606	609		Platycarpum orinocense	130						
		609-2									
11	6626	626		Pachira brevipes	140						
		626-2									
12	6671	671		Platycarpum orinocense	140						
		671-2									
13	6708	708		Mauritia flexuosa	130						
		708-2									
14	6724	724		Platycarpum orinocense	130						
		724-2									
15	6741	741		Pachira brevipes	100						
		741-2									

Anexo 7: Protocolo para utilizar el equipo analizador de Li-800

Protocolo para la medición de flujo de CO₂ de los fustes en las turberas amazónicas

Instalación de las cámaras al inicio del experimento

- Se seleccionaron tres turberas en la Amazonía peruana
- Se instalaron 2 parcelas de 0.5 ha (50 m x 100 m) por turbera, 6 parcelas en total
- Las parcelas están subdivididas en 15 subparcelas (10 subparcelas de 20 m x 20 m y 5 subparcelas de 20 m x 10 m)
- Se realizó un inventario de todos los árboles (de DAP > 10 cm) de cada parcela
- En cada una de las subparcelas 1-10 se seleccionaron 2 árboles y en cada una de las sub-parcelas 11-15 se seleccionó 1 árbol (en total 25 árboles) para la medición
- Los árboles se seleccionaron según los criterios siguientes:

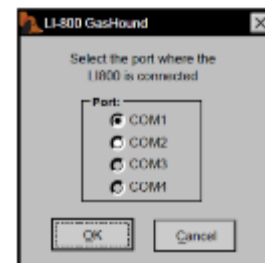
1. ABUNDANCIA DE ESPECIES: Se seleccionaron las especies más abundantes.
2. DIAMETRO: Se seleccionaron árboles cuyo diámetro es suficientemente grande (>10 cm) para poder colocar la cámara de fustes.
3. DISTRIBUCIÓN REGULAR: Se distribuyeron las cámaras de una manera regular en las subparcelas.

- En cada árbol seleccionado, se colocó una cámara de fustes sobre una parte regular del fuste
- Se selló las cámaras con silicona y se las ajustó con ligas de caucho



Las configuraciones (no cambiar - el equipo ya está configurado)

- Conectar el cable de USB a la computadora
- Encender el Licor en el interruptor rojo (detrás de la caja negra)
- Ajustar el regulador de flujo a 4 litros por minuto (al lado derecho de la caja de Licor)
- Encender la computadora e iniciar el programa LI-800 GasHound
- Seleccionar **COM2** y presionar en **OK**
- La ventana principal presenta 4 opciones: CONFIGURE, CALIBRATE, RECORD Y QUIT
- Presionar en CONFIGURE
- En CONTROL: activar **pressure compensation**
- En ALARMS: no está activado en ninguno
- En FILTER: seleccionar en **1 sec**
- En SPAN: seleccionar en 1000ppm
- Si todo está ok, presionar en cancel
- Presionar en RECORD (grabar)
- En SAMPLING: seleccionar en **Sample period** (periodo de muestreo): **0.5 sec** y seleccionar en **Logging period** (periodo de registro): **0.5 sec**



- En PLOP: escribir en **Plop title** (título del argumento): **CO₂ concentración**, seleccionar en **Graph type** (tipo de gráfico): **line** y escribir en **Y-Axis Title**: **CO₂ ppm**.

Precauciones importantes

Transporte

- Llevar el Licor en la caja amarilla y ajustarla adecuadamente a la mochila
- **NO** golpear la caja al caminar en la turbera o durante el transporte
-

Lluvia

- si llueve un poco, proteger el Licor con una capota y continuar haciendo la lectura
- si llueve de manera fuerte, parar las mediciones y cerrar la caja amarilla.

Caída de la tapa o de las mangueras al agua

- Sostener con cuidado la tapa del Licor-800 mientras se espere la lectura adecuada.
- Si la tapa cae al agua, inmediatamente apagar el Licor
- Verificar hasta donde el Licor absorbió agua
- Si el agua solo llegó hasta las mangueras antes del filtro (antes de las primeras válvulas, tuercas o argollas plateadas), quitar las mangueras desajustando las argollas
- Comenzar a secar por fuera y por dentro soplando o absorbiendo el agua, es decir sacudir fuertemente hasta que queden totalmente secos
- Volver a colocar las mangueras, ajustar las válvulas y continuar con las mediciones
- Si el agua llegó hasta el filtro, parar las mediciones y cambiar el filtro en el laboratorio (o sercarlo con el aire acondicionado en la oficina)

Batería baja

- El LED de batería baja del panel superior del LI-800 se iluminará cuando el voltaje de la batería cae por debajo de 10,5 voltios
- El LI-800 continuará funcionando con una batería baja pero habrá una reducción correspondiente en el rendimiento

Mediciones en el campo

Sellar cámaras sueltas

- antes de comenzar las mediciones, revisar el estado de las cámaras
- sellar las cámaras sueltas de nuevo con silicona

NOTA: no cubrir mucho la superficie del fuste dentro de la cámara porque esto bloquea la salida de CO₂ del fuste y afecta al resultado

- traer el residuo de silicona restante, no contaminar las turberas
- después de sellar, esperar 20 minutos antes de empezar la medición en esa cámara.

Encender el Licor y la computadora

- prender la computadora
- conectar el cable de USB (de color azul) a la computadora
- encender el Licor presionando el botón rojo
- en el regulador de flujo transparente, confirmar que la velocidad de flujo sea 0.4 LPM (litros por minuto de aire) – si no es el valor correcto, ajustarlo con el perno de color negro que se encuentre en el mismo regulador
- conectar las mangueras enrolladas del Licor a la tapa de la cámara
- presionar en el icono del perrito, seleccionar **COM 2** y **OK**
- se abrirá la ventana principal con la concentración actual de CO₂

Definir los axis y guardar el archivo

- presionar en **Record** que es el botón de grabación en la pantalla principal
- se abre una ventana que presenta 5 pestañas
- en **Y-AXIS**: en **Y-axis Max** poner **600**, en **Y-axis Min** poner **0**, seleccionar **Y-axis ticks** y poner **5**
- en **X-AXIS**: seleccionar **Tick Marks**, seleccionar en **Plot Length** (longitud de trazado) **500 samples** y seleccionar en **Tick Every** (marque cada) **10th samples**
- en **Log File**: seleccionar **Point**, presionar en **Save to** y se abre una ventana para guardar el archivo
- dentro de la carpeta de la turbera (es decir, Quistococha, San Jorge y Buena Vista) crear una carpeta con el nombre del mes de la evaluación y el año respectivo y dentro de esta carpeta crear dos carpetas para cada parcela:

Nombre de la carpeta de la turbera: San Jorge

Carpeta: Noviembre 2016

Carpeta: SJO_01

Carpeta: SJO_02

- guardar el archivo de cada medición con el código de árbol que se está evaluando, por ejemplo: para el árbol con código 3 el nombre del archivo es “**3**”
- escribir el nombre del archivo en **File name** y presionar **Save** para guardar el archivo

Establecer el nivel de CO₂

- regresar a la pantalla principal del programa Gashound
- elevar la tapa de la cámara por encima de la cabeza para evitar que el LI-800 capture la respiración del operador y mover la tapa buscando corrientes de aire
- esperar que la lectura de CO₂ baje a **380-430 ppm** (tener en cuenta que la concentración de CO₂ en el ambiente es de 420 ppm)

Mediciones

- cuando se logra tener aproximadamente esta lectura que va descendiendo, **realizar rápido los siguientes pasos**: presionar de nuevo en **Record**, **Log File**, **Point** y **Save to** (y se abre la ventana para guardar el archivo que ya tiene el nombre del archivo definido), **Save** y **Start** para empezar la lectura

- al instante de presionar en **Start**, colocar la tapa en la cámara - sin respirar, con cuidado y despacio sin dañar o despegar la cámara ni disturbar el flujo de CO₂
- verificar que no haya oscilación en el gráfico - en el caso contrario, reiniciar la lectura
- medir por **5 minutos** (no tocar la pantalla de la computadora después de presionar en **Start**, porque la pantalla se apaga automáticamente después de 5 min)
- presionar en **Stop** y luego en **Quit** y sacar la tapa con cuidado dándole rosca
- realizar de nuevo los mismos pasos para tomar una segunda lectura (pero sin definir de nuevo los axis), es decir: dejar establecerse el nivel de CO₂ a 380-430 ppm, presionar en **Record, Log file, Point, Save to** y para guardar el archivo, añadir un guion y el número 2 al código del árbol, por ejemplo: **3-2**, presionar **Save** y **Start** y después de los 5 minutos, presionar **Stop y Quit**
- al finalizar las dos lecturas, cerrar el programa GasHound, desconectar el cable de USB, cerrar la pantalla de la computadora (suspendiéndose automáticamente), enrollar las mangueras y cerrar bien la caja amarilla para el transporte al próximo árbol.

Anexo 8. Protocolo para calcular el flujo de CO₂ con datos de Li-800

Llevar los datos de block de notas al excel

- Los datos de Licor-800 se guardan automáticamente en la computadora como un lock de notas que incluye 5 columnas: la fecha, la hora, el flujo de CO₂, la presión y la temperatura.
- Estos datos son llevados Microsoft Excel para calcular el flujo de CO₂ del área de la cámara
- para llevar los datos a Excel se siguen los siguientes pasos:
 - Abrir el documento de block de notas en Excel y seleccionando el archivo, asegurar de elegir "Todos los archivos" y así se ve el block de notas en la lista de archivos para elegir
 - En la primera pantalla, seleccionar **Delimitados** y presionar en **Siguiente**
 - En la segunda pantalla, seleccionar **Espacio** (además de **Tabulación**) y presionar en **Finalizar**
 - Crear una nueva columna (columna C) al lado de la columna del tiempo original (columna B)
 - Seleccionar la columna del tiempo original (columna B) y dar a las celdas el formato **Hora** (13:30:55)
 - Seleccionar la nueva columna C y dar a las celdas el formato **Número**
 - Convertir el tiempo original (horas, minutos y segundos) a sólo minutos escribiendo la siguiente fórmula en la celda de excel C2: =HORA(B2)*60+MINUTO(B2)+SEGUNDO(B2)/60
 - copiar la misma fórmula para todas las celdas de la columna C (hasta la fin de los valores)
 - Seleccionar las columnas C (tiempo en minutos) y D (Point=concentración de CO₂) y insertar **un gráfico de dispersión con líneas rectas y marcadores** para calcular el flujo de CO₂ (asegurar que x= tiempo en minutos y y=CO₂)
 - presionar en el **+** que está al lado derecho del gráfico y se abre una lista de elementos de gráfico, elegir **Línea de tendencia**
 - Presionar en la flecha al lado de la línea de tendencia, elegir **Más opciones** y seleccionar **Presentar ecuación en el gráfico** y **Presentar el valor R cuadrado en el gráfico**

- Si hay picos o partes irregulares al inicio o al final de la línea, borrar los datos que corresponden a esas partes **eliminando esos datos del archivos excel**, es decir buscar la parte regular de la curva (R^2 tiene que ser > 0.9)
 - En la ecuación, el número en frente de x es el flujo de CO_2 dentro de la cámara con la unidad ppm/min, por ejemplo, en la ecuación: $y=6.3957x-3101.8$, el flujo de CO_2 es 6.3957 ppm/min
- Repetir el procedimiento para todos los archivos de block de notas.

Calcular el flujo de CO_2

- Para poder estimar el flujo de CO_2 , necesitamos incluir en el excel de procesamiento de datos de fustes los siguientes datos:

- **la primera columna: Fecha**
- Escribir la fecha de medición (por ejemplo, 31/06/2016).
- **La segunda columna: Parcela**
- Escribir el código de la parcela (por ejemplo, BVA-01)
- **La tercera columna: Árbol**
- Escribir el código del árbol en el cual se hizo la medición (por ejemplo, 3)
- **La cuarta columna: Lectura del flujo de CO_2 , $L_{cx}CO_2$ (ppm/min)**
- Escribir el flujo de CO_2 obtenido en la parte anterior y tiene que ser el promedio de las dos lecturas que se ha tomado para ese árbol en ese mes

NOTA: hacer otra hoja de excel para calcular estos promedios

- **La quinta columna: Altura de la cámara sobre el fuste (dm)**
- Escribir la altura de la cámara sobre el fuste en decímetros (dm)
- **La sexta columna: Presión atmosférica, P_x (mbar)**
- Escribir el promedio de todos los valores de presión de los dos archivos de block de notas que corresponden a ese árbol y ese mes en la unidad de milibares (mbar)

NOTA: hacer otra hoja de excel para calcular estos promedios

- **La séptima columna: Temperatura de aire, T_{air} ($^{\circ}C$)**
- Escribir el promedio de todos los valores de temperatura del aire de los dos archivos de block de notas que corresponden a ese árbol y ese mes

NOTA: hacer otra hoja de excel para calcular estos promedios

- **La octava columna: Volúmen molar, V_m (dm³=litros)**
- Calcular el volumen molar de un gas en la temperatura de medición y la presión de medición con la ecuación siguiente (explicada abajo):

$$V_m = 22.4 \text{ dm}^3 * \frac{(273.15 \text{ kel} + T_{air})}{273.15 \text{ kel}} * \frac{1013.25}{P_x}$$

- La primera parte de la ecuación representa el volumen (22.4 litros=dm³) que 1 mol (= 6.023x 10²³ moléculas) de cualquier gas normal ocupa en la temperatura de 273,15 K / 0 °C y en la presión atmosférica estándar a nivel del mar (1013.25 mbar)

sin embargo, nuestras temperaturas de medición son más altas y lo consideramos

- En la segunda parte de la ecuación donde:

- La parte superior representa la conversión de la temperatura de medición (T^ox) desde la unidad de °C a la unidad de Kelvin
- La parte inferior es la temperatura de 273.15 Kelvin = 0 °C (que es la temperatura de referencia)

NOTA: cuando la temperatura aumenta, el espacio que el gas ocupa aumenta también. También nuestras presiones son diferentes y lo consideramos

- En la tercera parte de la ecuación donde:

- La parte superior es la presión atmosférica de referencia (1013.25 mbar)
- La parte inferior es la presión de medición (P_x)

NOTA: cuando la presión aumenta, el espacio que el gas ocupa disminuye por ejemplo: si T_{air} = 37 °C y P_x = 1012.20 mbar, el volumen molar es:

$$V_m = 22.4 \text{ dm}^3 * \frac{(273.15 \text{ kel} + 37^\circ\text{C})}{273.15 \text{ kel}} * \frac{1013.25}{1012.20} = 25.46 \text{ dm}^3$$

- **La novena columna: Área de la cámara, *A_{cam}* (m²)**

- Calcular el área de la cámara usando la radio (*r*) de la cámara (5 cm = 0.05 m):

$$\begin{aligned} A_{cam} &= \pi r^2 \\ A_{cam} &= 3.1416 * 0.05^2 \\ \mathbf{A_{cam} &= 0.00785 \text{ m}^2} \\ \mathbf{A_{cam} &= 0.785 \text{ dm}^2} \end{aligned}$$

- **La décima columna: Volumen de la cámara, *V_{cam}* (dm³)**

- Calcular el volumen de la cámara usando el área de la cámara y la altura del tubo de la cámara (*h*, 10 cm = 1 dm):

$$V = A_{cam} * h$$

$$V = 0.785 \text{ dm}^2 * 1 \text{ dm}$$

$$V = 0.785 \text{ dm}^3$$

- **La undécima columna: Flujo de CO₂ (micromoles(μmol) / m² / min)**

- Calcular el flujo de CO₂ en la unidad de micromoles (μmol) / m² / min

$$\text{Flujo de CO}_2 = \frac{V_{cam}}{V_m} * \frac{Lc\bar{x}CO_2}{A_{cam}}$$

- En la primera parte de la ecuación se divide el volumen de la cámara con el volumen molar para saber cuántos moles de gases la cámara contiene en esa temperatura

NOTA: solo una parte de esos gases es CO₂ – hay también otros gases dentro de la cámara, como O₂, CH₄, N₂O etc.

- En la segunda parte de la ecuación, se multiplica el número de moles por la lectura de CO₂ en ppm (partes por millón) para saber la fracción de CO₂ de todos los gases dentro de la cámara

NOTA: el resultado sale en micromoles, porque el micromol es una 1/1000000 parte de mol, es decir, una parte por millón (ppm).