

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

## Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Biología - Microbiología

“Comportamiento de respiración del suelo en ecosistemas con diferentes períodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica en el Distrito de Jenaro Herrera, Loreto”

## TESIS

Presentada por:

Bach. Gerardo Rafael Flores Llampazo

Para optar el Título Profesional de:

**BIÓLOGO - MICROBIÓLOGO**

TACNA - PERÚ

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN, TACNA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

**TESIS N° 300      TITULO PROFESIONAL BIÓLOGO - MICROBIÓLOGO**

En la ciudad de Tacna, en el aditorium de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Ghohmann; siendo las 16:00 horas de día 28 de junio del 2017 estando presente el jurado calificador nominado por Resolución de Facultad N° 8889-2017-FACI-UN/JBG conformado por los siguientes docentes:

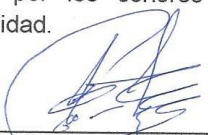
PRESIDENTE	Dr. Daladier Miguel Castillo Cotrina
SECRETARIO	Blgo. Victor Carbajal Zegarra
MIEMBRO	Dr. Pablo Juan Franco León


Acto seguido, se dio lectura a la Resolución correspondiente y del mismo modo de se dio lectura al Artículo 22 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias.

A continuación, el Presidente del Jurado instó a el Bachiller: **GERARDO RAFAEL FLORES LLAMPAZO**, a exponer la tesis titulada **“Comportamiento de respiración del suelo en ecosistemas con diferentes períodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica en el Distrito de Jenaro Herrera, Loreto”**.

Siendo las 16:45 horas el tesista concluye su exposición, luego se procedió a la formulación de las preguntas por parte de los miembros del jurado calificador. Terminando este proceso, se invitó a que los miembros del jurado emitan su calificación de acuerdo a reglamento. El promedio de la calificación dio el siguiente resultado: Aprobado por **UNANIMIDAD** con el calificativo 16 de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias.

Siendo las 17:35 horas se dio por concluido el acto de sustentación de la tesis, firmado por los señores miembros del jurado calificador, en señal de conformidad.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Daladier Miguel Castillo Cotrina  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Blgo. Victor Carbajal Zegarra  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Pablo Juan Franco León  
Miembro

## **DEDICATORIA**

A mis padres, quienes me dieron su incondicional apoyo en cada decisión,  
en lo académico y emocional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Blgo. Jhon Del Aguila Pasquel y Mgr. Giovanni Aragón Alvarado, mis asesores, por sus constantes consejos y apoyo en todas las fases del desarrollo del presente trabajo de investigación.

A la jefatura, equipo técnico y eventuales del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), quienes me brindaron el uso de las instalaciones, consejos y orientación en toda la fase de campo.

## CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ABREVIATURAS	x
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Hipótesis.....	4
1.2.1. Hipótesis general.....	4
1.2.2. Hipótesis específica.....	5
1.3. Justificación .....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general .....	6
1.4.2. Objetivo específico .....	6
1.5. Marco teórico .....	7
1.5.1. Ciclo global de dióxido de carbono y la respiración del suelo....	7
1.5.2. Flujo de dióxido de carbono del suelo .....	8
1.5.3. Variación temporal y espacial en la respiración del suelo .....	10
1.5.4. Métodos de estimaciones de flujo de CO <sub>2</sub> .....	16
1.5.5. Analizador de Gases Infrarrojo (EGM-4) .....	18

II	MATERIAL Y MÉTODO .....	21
	2.1. Ubicación y delimitación del área de estudio .....	21
	2.2. Población y muestra .....	21
	2.2.1. Población.....	21
	2.2.2. Muestra.....	21
	2.3. Diseño de investigación .....	21
	2.4. Método.....	22
	2.4.1. Instalación de parcelas.....	22
	2.4.2. Toma de datos.....	25
	2.4.3. Procesamiento de datos .....	27
III	RESULTADOS .....	30
	3.1. Respiración del suelo en las parcelas de investigación .....	30
	3.2. Períodos de inundación anual .....	32
	3.3. Niveles de perturbación antrópica.....	33
	3.4. Variación temporal.....	34
	3.5. Temperatura .....	36
	3.6. Humedad .....	41
IV	DISCUSIÓN.....	45
V	CONCLUSIÓN.....	51
VI	RECOMENDACIONES.....	52
VII	BIBLIOGRAFÍA.....	53
VIII	ANEXOS .....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tasa promedio de respiración del suelo ( $t\ CO_2\ ha^{-1}\ año^{-1} \pm$ error estándar) en diferentes tipos de vegetación.....	16
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de ecosistemas según período de inundación anual. .....	24
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de ecosistemas según niveles de perturbación antrópica.....	24
<b>Tabla 4.</b> Correlación de la respiración del suelo con las tomas de muestras de temperatura. ....	37
<b>Tabla 5.</b> Correlación de la respiración del suelo con las tomas de muestra de humedad del suelo. ....	42

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Promedio de respiración de suelo en las diferentes parcelas de estudio. ....	31
<b>Gráfico 2.</b> Valores promedios de las parcelas con diferentes períodos de inundación.....	33
<b>Gráfico 3.</b> Valores promedios de las parcelas con niveles de perturbación antrópica. ....	34
<b>Gráfico 4.</b> Variación temporal de la respiración del suelo durante los meses de agosto a enero. ....	35
<b>Gráfico 5.</b> Correlación de la temperatura de suelo dentro del tubo (TSD) con la respiración del suelo en las parcelas de evaluación.....	38
<b>Gráfico 6.</b> Correlación de la temperatura de suelo fuera del tubo (TSF) con la respiración del suelo en las parcelas de evaluación. ....	39
<b>Gráfico 7.</b> Correlación de la temperatura de suelo <i>in situ</i> con la respiración del suelo en las parcelas de evaluación.....	40
<b>Gráfico 8.</b> Correlación de la humedad de suelo dentro del tubo con la respiración del suelo en las parcelas de evaluación. ....	43
<b>Gráfico 9.</b> Correlación de la humedad de suelo fuera del tubo con la respiración del suelo en las parcelas de evaluación. ....	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b>	Datos descriptivos de las parcelas de estudio.....	66
<b>Anexo 2.</b>	Pruebas de normalidad para parcelas inundadas (PI) y no inundados (PNI). .....	67
<b>Anexo 3.</b>	Prueba no paramétrica suma de rangos de Wilcoxon para las parcelas con diferentes períodos de inundación. ....	67
<b>Anexo 4.</b>	Datos descriptivos de parcelas inundados (PI) y no inundados (PNI).....	68
<b>Anexo 5.</b>	Prueba de normalidad en ecosistemas con diferentes niveles de perturbación antrópica.....	68
<b>Anexo 6.</b>	Prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para las parcelas de niveles de perturbación antrópica (NPA).....	69
<b>Anexo 7.</b>	Prueba post-hoc Dunn. ....	69
<b>Anexo 8.</b>	Datos descriptivos de bosque primario (BP), bosque degradado (BD) y bosque en recuperación (BR). ....	70
<b>Anexo 9.</b>	Pruebas de normalidad para la variación temporal. ....	71
<b>Anexo 10.</b>	Prueba de Friedman para la parcela Restinga baja I. ....	73
<b>Anexo 11.</b>	Prueba de Friedman para el bosque de terraza alta. ....	73
<b>Anexo 12.</b>	Prueba de Friedman para la parcela chacra. ....	73
<b>Anexo 13.</b>	Prueba de Friedman para la parcela de pasto activo. ....	74
<b>Anexo 14.</b>	Prueba de Friedman para la parcela de pasto degradado. ....	74

<b>Anexo 15.</b> Prueba de Friedman para la plantación de huacapú.....	74
<b>Anexo 16.</b> Prueba de Friedman para la plantación de tornillo. ....	74
<b>Anexo 17.</b> Prueba de anova de medidas repetidas para la parcela de purma. ....	75
<b>Anexo 18.</b> Prueba de Friedman para la parcela de aguajal.....	75
<b>Anexo 19.</b> Prueba de anova de medidas repetidas para la parcela Restinga baja II. ....	76
<b>Anexo 20.</b> Prueba de Friedman para parcela de varillal.....	76
<b>Anexo 21.</b> Fotografía del analizador de gases infrarrojo (EGM-4). ....	76
<b>Anexo 22.</b> Fotografía del tubo de pvc insertado en el suelo.....	77
<b>Anexo 23.</b> Fotografía del higrómetro y termómetro digital.....	78
<b>Anexo 24.</b> Fotografía de la toma de datos de la respiración del suelo con el EGM-4. ....	78

## ABREVIATURAS

CO <sub>2</sub>	:	Dióxido de carbono.
Pg C	:	Petagramos de carbono.
t CO <sub>2</sub>	:	Toneladas de carbono.
Ha	:	Hectárea.
SRC-1	:	Cámara de respiración del suelo.
EGM-4	:	Monitor de gas ambiental para dióxido de carbono.
VAR	:	Varillal.
BTA	:	Bosque de terraza alta.
PTO	:	Plantación de Tornillo.
PHU	:	Plantación de Huacapu.
PDE	:	Pasto degradado.
PAC	:	Pasto activo.
CHA	:	Chacra.
PUR	:	Purma.
RBI	:	Restinga baja I.
RBII	:	Restinga baja II.

AGU	:	Aguajal.
TAI	:	Temperatura ambiental <i>in situ</i> .
TSD	:	Temperatura del suelo dentro del tubo.
TSF	:	Temperatura del suelo fuera del tubo.
HD	:	Humedad del suelo dentro del tubo
HF	:	Humedad del suelo fuera del tubo.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Respiración del suelo:** Es el dióxido de carbono que se emite desde los perfiles del suelo, dividida en una respiración autótrofa y microbial.

**EGM-4:** Es un instrumento de alta precisión para uso en aplicaciones de monitoreo de dióxido de carbono tales como invernaderos, salas de control ambiental, viveros y laboratorios. Utiliza técnicas de análisis de gas infrarrojo, para determinar fácilmente las concentraciones de dióxido de carbono y son posibles las mediciones instantáneas.

**Varillal:** El epíteto deriva de varilla = “arbolito o rama delgada pero muy resistente”. Se halla aislada o como continuidad de un Chamizal. Suelo de arena blanquecina de 0,5 a 5 m de profundidad, en algunas más profundas.

**Bosque de terraza:** Ocupan grandes extensiones de terrenos planos u ondulados con disecciones leves, con drenaje y escorrentía variables, alejados de los cauces de los ríos o entre las colinas. Generalmente escurre agua casi clara o limpia que se torna blanca por la erosión en las pequeñas quebradas.

**Bosque de restinga:** El vocablo deriva de “resto o delgada faja de terreno sin inundar”. Comprende las cimas de ondulaciones caso paralelas a la tahuampa expuesta a la inundación en períodos de crecimiento irregular.

**Aguajal:** El nombre deriva de las extensas áreas con comunidades casi puras de aguaje (*Mauritia flexuosa*). Se halla en las depresiones de los bosques de tahuampa y planicie de bajjal o llanura, generalmente lejos de las masas de agua blanca y expuestos a la inundación periódico-estacional por agua negra o de mezcla.

**Purma:** Son áreas abandonadas y degradadas, que han sido deforestados para fines agropecuarios.

## RESUMEN

La respiración del suelo es una de los flujos de dióxido de carbono más importantes en el ciclo del carbono y con mayor estimación en regiones tropicales. El objetivo de este estudio es evaluar el comportamiento de la respiración del suelo en once parcelas con diferentes períodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica durante seis meses en el Distrito de Jenaro Herrera, ubicado en la provincia de Requena, Loreto. Asimismo, se evaluó la correlación con la humedad y temperatura. Las parcelas de estudio presentan diferencias significativas tanto en los diferentes períodos de inundación anual como en los niveles de perturbación antrópica. En las parcelas no inundadas e inundadas la tasa de respiración del suelo fue  $54,43 \pm 0,87$  error estándar (EE) y  $49,06 \pm 1,94$  t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente, demostrando mayor respiración del suelo en zonas no saturados. Los niveles de perturbación antrópica demuestran una diferencia decreciente de la respiración del suelo desde parcelas de bosques degradados seguido de bosques en recuperación y bosque primario con valores de  $62,02 \pm 2,08$ ,  $50,94 \pm 0,95$  y  $49,93 \pm 1,60$  t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. La respiración del suelo para la variación temporal es significativa y presenta una tendencia decreciente durante la época lluviosa. La respiración del suelo y la

temperatura demuestran una predominancia de correlación y para el caso de la correlación con la humedad es predominantemente negativa.

## ABSTRACT

Soil respiration is one of the most important carbon dioxide flows in the carbon cycle and is most estimated in tropical regions. The objective of this study is to evaluate the behavior of soil respiration in eleven plots with different annual flood periods and levels of anthropogenic disturbance during six months in the district of Jenaro Herrera, located in the province of Requena, Loreto. Likewise, the correlation with humidity and temperature was evaluated. The study plots present significant differences both in the different periods of annual flooding and in the levels of anthropic disturbance. In non-flooded and flooded plots the soil respiration rate was  $54,43 \pm 0,87$  EE and  $49,06 \pm 1,94$  t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, respectively, demonstrating greater soil respiration in unsaturated areas. The levels of anthropogenic disturbance show a decreasing difference in soil respiration from degraded forest plots followed by forests in recovery and primary forest with values of  $62,02 \pm 2,08$ ,  $50,94 \pm 0,95$  and  $49,93 \pm 1,60$  t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> respectively. Soil respiration for the temporal variation is significant and presents a decreasing tendency during the rainy season. Soil respiration and temperature show a predominance of correlation and for the case of correlation with humidity is predominantly negative.

## I INTRODUCCIÓN

El mayor reservorio de carbono en los ecosistemas terrestres, se encuentra en los bosques forestales (Dixon *et al.*, 1994; Saatchi *et al.*, 2011) y, dentro de estos sistemas, el suelo es el compartimento que más carbono almacena (Korner, 2000; Lal, 2004). En ese sentido, los bosques tropicales, debido a su extensión, juegan un rol mayor en el ciclo global del carbono (Gash, Keller, Bustamante, & Dias, 2009; Hashimoto *et al.*, 2015; Malhi & Phillips, 2004) actuando como sumidero de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Bajo ese contexto, la Amazonía representa un componente de vital importancia del sistema climático global (P M Cox *et al.*, 2004; Peter M Cox, Betts, Jones, Spall, & Totterdell, 2000; Del Grosso *et al.*, 2008; Hashimoto *et al.*, 2015; Nobre, Sellers, & Shukla, 1991; Eleneide Doff Sotta *et al.*, 2004), aproximadamente con el 14 % de todo el carbono fijado por la biosfera (Zhao & Running, 2010) y 64 % de respiración del suelo de las regiones tropicales a nivel global (Hashimoto *et al.*, 2015).

El carbono almacenado en el suelo es liberado hacia la atmósfera mediante la respiración del suelo, este proceso, es muy sensible a los cambios medioambientales, siendo así que, la perturbación natural y antrópica del suelo, a menudo envuelven cambios simultáneos en múltiples factores (Luo & Zhou, 2006). El suelo mantiene carbono hasta que las condiciones ambientales (temperatura, humedad del suelo, etc.) son

cambiadas y se altere la estructura del suelo. Por lo tanto, el cambio de uso de suelo (prácticas de cultivo, etc.), acelera la descomposición de la materia orgánica y la respiración del suelo. Luego de la conversión de ecosistemas naturales a agrícolas, el carbono orgánico se reduce tanto como 60 % en regiones templadas y 75 % o más en trópicos (Luo & Zhou, 2006); para el caso de pastizales templados semiáridos, el tipo de uso de suelo afecta fuertemente la respiración del suelo (Gong *et al.*, 2014), se ha demostrado también, una tendencia de reducción de respiración de suelo tras los cambios de uso de suelo (Sheng *et al.*, 2010); entre bosques secundarios y sistemas agroforestales, y por la estacionalidad la respiración de suelo difiere significativamente.

Con lo mencionado anteriormente, el contenido de agua, afecta la respiración del suelo, cuando excede las condiciones óptimas, provocando una disminución de la respiración del suelo debido a la limitación de oxígeno en suelos húmedos, bosques lluviosos y áreas inundadas (Stolzy 1974, Crawford 1992; Chimner 2004). Por otra parte, existe una fuerte correlación con la temperatura (Lloyd & Taylor, 1994; X. L. Tang *et al.*, 2006) y humedad del suelo (X. L. Tang *et al.*, 2006), sin embargo, estudios comparativos demuestran que la tasa de respiración del suelo es predominantemente determinada por la humedad del suelo, mas no por la temperatura del suelo (Hashimoto *et al.*, 2004). Por otra parte, la variación

temporal conlleva cambios en temperatura, humedad, producción fotosintética y/o sus combinaciones, de esta manera se ha encontrado que, la tasa de respiración del suelo son usualmente altas durante el verano y bajas en invierno (Luo & Zhou, 2006), en otros estudios, la respiración del suelo es relativamente alta durante la estación lluviosa y baja durante la estación seca (Hashimoto *et al.*, 2004), relacionándose con flujos significativamente altas en la estación húmeda caliente que en estaciones áridos frescos (X. L. Tang *et al.*, 2006), debido al tipo de ecosistema y clima (Luo & Zhou, 2006).

Sin embargo, pese a existir estudios sobre la dinámica del carbono en bosques tropicales, actualmente, no se tiene información completa sobre el comportamiento de la respiración del suelo, bajo este contexto, generar información en distintas zonas de la Amazonía mejorará el entendimiento del proceso de respiración del suelo.

### **1.1. Planteamiento del problema**

La respiración del suelo es una pieza importante en el acertijo de los sistemas terrestres, para el caso de los bosques amazónicos, éstos, cumplen un rol importante en el ciclo global del carbono, porque contribuye a regular la concentración de dióxido de carbono atmosférico (Honorio y Baker, 2010). Los bosques aledaños al Centro

de Investigaciones Jenaro Herrera (CIJH), poseen parcelas permanentes, para estudiar la dinámica del ciclo de carbono en bosques amazónicos, estos ecosistemas presentan diferentes períodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica, estos eventos, alteran la estabilidad del ciclo del carbono y los factores asociados a la respiración del suelo, como la temperatura, humedad del suelo, suministro del sustrato, etc. Actualmente, no se conoce la variabilidad de la respiración del suelo bajo estas condiciones, los estudios realizados se centran en bosques de altura y primarios, en tal sentido se plantea la siguiente interrogante:

¿Cuál es el comportamiento de la respiración del suelo en ecosistemas con diferentes períodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica en el Distrito de Jenaro Herrera?

## **1.2. Hipótesis**

### **1.2.1. Hipótesis general**

La respiración del suelo presenta un comportamiento fluctuante asociado a los diferentes períodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica.

### **1.2.2. Hipótesis específica**

- En los ecosistemas con períodos prolongados de inundación la respiración media anual es más baja.
- Los ecosistemas altamente perturbados tienen la tasa de respiración anual más alta.
- La respiración del suelo de los ecosistemas evaluados presenta una alta variación temporal.
- La respiración del suelo mantiene una correlación positiva con la temperatura.
- La respiración del suelo mantiene una correlación positiva con la humedad del suelo.

### **1.3. Justificación**

La respiración del suelo es la principal fuente de flujo de carbono, por lo tanto, es crucial en el ciclo global del carbono, además de su relación con el calentamiento global, por ser parte, de los gases del efecto invernadero.

Entre los tipos de ecosistemas, los bosques tropicales, juegan un rol mayor en el ciclo global del carbono y ejercen un papel fundamental como sumidero de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

La respiración del suelo es influenciada por variables medioambientales (temperatura, humedad, sustrato del suelo, etc.) o perturbaciones antrópicas, lo cual ha generado diversos estudios con respecto al comportamiento de la respiración del suelo, obteniendo resultados contradictorios entre éstos, debido a la variación espacio-temporal, metodología y entre otros, por lo tanto, sugiere realizar mayor cantidad de datos para entender cómo se comporta la respiración del suelo y más aún en ecosistemas tropicales.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar el comportamiento fluctuante de la respiración del suelo asociado a los diferentes períodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica.

### **1.4.2. Objetivo específico**

- Comparar la respiración del suelo entre los ecosistemas con diferentes períodos de inundación anual.
- Comparar la respiración del suelo entre los ecosistemas con diferentes niveles de perturbación antrópica.
- Estimar la variación temporal en la respiración del suelo en los ecosistemas evaluados.

- Estimar la correlación positiva entre la temperatura y la respiración del suelo en los ecosistemas evaluados.
- Estimar la correlación positiva entre la humedad del suelo y la respiración del suelo en los ecosistemas evaluados.

## **1.5. Marco teórico**

### **1.5.1. Ciclo global de dióxido de carbono y la respiración del suelo.**

El ciclo de carbono a escala global envuelve cambios de CO<sub>2</sub> sobre la atmósfera, océanos y la corteza terrestre. En cada año, las plantas toman aproximadamente 120 Pg C año<sup>-1</sup> desde la atmósfera. Y aproximadamente es la cantidad que se libera hacia la atmósfera en la respiración del ecosistema. Los océanos absorben cercanamente 92 Pg C año<sup>-1</sup> desde la atmósfera y libera 90,6 Pg C año<sup>-1</sup>. Los suelos contienen 3150 Pg C, incluido 450 Pg C, 400 Pg C y 2300 Pg C en suelos inundados, suelos permanentemente congelados y otros ecosistemas respectivamente (Sabine *et al.*, 2003). Las plantas contienen 650 Pg C. La quema de combustible realizada por las actividades antrópicas adiciona 6 Pg C año<sup>-1</sup> y 1,2 Pg C año<sup>-1</sup> del desmonte, deforestación y fuego hacia la atmósfera.

El CO<sub>2</sub> liberado por las actividades antrópicas representan pequeños cambios adicionales en comparación a la cantidad de

flujo de carbono liberado por los procesos naturales. Las emisiones antrópicas, sólo una tercera parte es secuestrado por los ecosistemas terrestres en plantas y suelos (Schimel *et al.*, 2001). De las emisiones de CO<sub>2</sub>, la respiración del suelo explica una porción grande la respiración total de la biósfera y es el segundo flujo más grande de los ecosistemas terrestres (Luo & Zhou, 2006).

Los reservorios terrestres almacenan cuatro veces más carbono que el reservorio atmosférico. Por lo tanto, el cambio en la respiración del suelo puede alterar el balance en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico (Luo & Zhou, 2006).

### **1.5.2. Flujo de dióxido de carbono del suelo**

Las plantas fijan CO<sub>2</sub> del aire y lo convierten en carbono orgánico a través de la fotosíntesis. Parte del carbono orgánico es usado para el crecimiento del tejido vegetal y otra parte se usa para suministro de energía, en este proceso se libera CO<sub>2</sub> mediante la respiración de la planta. En el crecimiento del tejido vegetal, las raíces finas y las hojas viven algunos meses hasta años, el tejido que compone la madera viven cientos de años. Los microorganismos descomponen la materia muerta de la planta,

aumentan la masa microbial y otras actividades. En este proceso también se libera  $\text{CO}_2$  a través de la respiración microbial. En el suelo, la biomasa microbial viva, el residuo orgánico de la planta muerta y los microbios muertos forman la materia orgánica del suelo. Esta materia orgánica puede almacenar carbono en el suelo por cientos a miles de años, antes que liberen  $\text{CO}_2$  a través de la respiración microbiana.

En el ciclo del carbono, el  $\text{CO}_2$  es liberado mediante la respiración de la planta y la respiración microbial. La respiración de la planta es también llamado autótrofa y puede ser separado en respiración de la planta por encima del suelo y debajo del suelo (es equivalente a respiración de la raíz). La respiración microbial es también llamado respiración heterotrófica. La respiración del suelo es la suma de la respiración de raíces y heterotrófica. Por lo tanto, la respiración del ecosistema puede ser estimada como la suma de la respiración de la planta por encima del suelo y la respiración del suelo. La respiración del suelo contribuye entre el 30 y 80 % de la respiración del ecosistema. Además, se relaciona cercanamente con la productividad primaria bruta, productividad primaria neta y la productividad neta del ecosistema.

### **1.5.3. Variación temporal y espacial en la respiración del suelo**

Los antecedentes indican que la respiración del suelo varía sustancialmente con el tiempo y espacio, debido a cambios en las variables ambientales, procesos bioquímicos y de transporte de CO<sub>2</sub>.

#### **Variación temporal**

Puede ser categorizada en cuatro escalas: Diariamente/semanalmente, estacional, interanual y en décadas/centenal (Luo & Zhou, 2006).

#### **Variación diurna**

En las mediciones diarias, la respiración del suelo aumenta en las mañanas con la temperatura hasta alcanzar puntos altos del mediodía hasta media tarde luego de esto decrece. La variable que fuertemente cambia es la temperatura del suelo a escala diurna, una función explica esta relación (Rayment, 2000). También correlacionada con la fotosíntesis (J. Tang, Baldocchi, & Xu, 2005). Luego de eventos de lluvias aumenta la respiración el suelo en altos valores, especialmente después de períodos de sequía (Curtin, Wang, Selles, McConkey, & Campbell, 2000; Jensen *et al.*, 1996; Rochette,

Desjardins, & Pattey, 1991). La humedad y la presión atmosférica también influye en la respiración del suelo diurnal (Baldocchi *et al.*, 2001).

### **Variación estacional**

Generalmente la respiración del suelo es alta en la época de verano y bajo en invierno, conducida por los cambios de temperatura, humedad, producción fotosintética y/o sus combinaciones. El tipo de ecosistema y clima es el principal factor de la respiración del suelo.

En la Cuenca Amazónica la variación de la temperatura no es extenso, pero el contenido de agua es substancial (Salimon, Davidson, Victoria, & Melo, 2004).

El tipo de vegetación también es un factor que regula la estacionalidad de respiración del suelo (Grogan & Chapin, 1999). Por lo tanto, la fenología de la planta es una influencia importante (Curiel yuste, Janssens, Carrara, & Ceulemans, 2004).

### **Variación interanual**

La variabilidad interanual de la respiración del suelo resulta de los cambios en las variables climáticas (temperatura, sequia, etc.) (Epron *et al.*, 2004), de los cambios en los procesos

ecológicos y fisiológicos (Hui, Luo, & Katul, 2003) y cambios en la disponibilidad de nutrientes (King *et al.*, 2004). El contenido de agua y temperatura del suelo son comúnmente usados para describir la variabilidad interanual. Los estudios también demuestran que la variación interanual de la respiración del suelo puede ser una mejor causa de una variación interanual del intercambio neto del ecosistema (Luo & Zhou, 2006).

### **Variación decadal y centenal**

La respiración del suelo a través de la escala tiempo de décadas para centenal explica los cambios sucesionales (Chapin, Matson, & Mooney, 2002). Al principio en una sucesión la tasa de respiración del suelo es cercano a cero, al desarrollo del ecosistema la tasa de respiración del suelo aumenta lentamente y cuando está a mitad de desarrollo aumenta como consecuencia al incremento de la productividad de la planta y materia muerta de la planta. Al final de la sucesión la tasa de respiración del suelo se detiene al alcanzar un estado contínuo. Sin embargo, los patrones no son claros en la secuencia sucesional de la respiración del suelo debido a lo diverso del suelo y las condiciones ambientales que presenta cada año. En bosques al sur de Finlandia, demostró que la alta tasa de

respiración del suelo ocurre en los doce años en bosque, seguido de bosque de 40 y 75 años (Kolari *et al.*, 2004). Es necesario considerar cuidadosamente las condiciones ambientales y del suelo para evitar el efecto confuso, cuando una cronosecuencia es seleccionada para el estudio de cambios sucesionales en la respiración del suelo (Luo & Zhou, 2006).

### **Patrones espaciales**

La variable espacial en la respiración del suelo ocurre desde centímetros cuadrados hasta varias hectáreas (Rayment 2000) y puede ocurrir en cuatro escalas espaciales: nivel posición, paisajes, regiones y biomas.

### **Nivel posición**

Una larga variabilidad espacial ocurre inclusive en suelos relativamente homogéneos. La natural heterogeneidad del suelo permite una diferencia espacial el cual ha sido observado en varios ecosistemas, como: pastos, plantaciones, bosques temperados, bosques tropicales, campos de cultivo y parches homogéneos de pinos, con diferentes coeficientes de variación (Luo & Zhou, 2006).

Las variaciones en las propiedades físicas del suelo, condiciones biológicas, disponibilidad de nutrientes y otros, permiten una alta variabilidad espacial de la respiración del suelo.

### **Nivel paisaje**

La variabilidad espacial de la respiración del suelo es causada por las variaciones en topografía, clima, características del suelo, tipo de vegetación, áreas y edades de las zonas y antecedente de perturbación. Estas áreas son heterogéneas con elementos de parcelas de extensiones hasta cientos de kilómetros cuadrados (Turner, 1989). Estas parcelas tienen diferentes factores que controla la respiración del suelo, principalmente una diversa variación espacial entre parcelas. Para este nivel la profundidad de materia orgánica muerta es un mejor predictor del promedio de la respiración del suelo que la temperatura y humedad del suelo.

### **Escala regional**

La respiración del suelo a escala regional y continental son productos de varios ecosistemas en respuesta de condiciones edáficas, efectos interactivos climáticos (usualmente la precipitación es un factor importante), factores bióticos, manejo

de uso de suelo y perturbación natural. Para tal caso, la variabilidad espacial de la respiración del suelo es considerado inevitable en una escala regional. Generalmente, la tasa de respiración del suelo es mayor en zonas húmedas y cálidas que en zonas frías y secas.

### **Biomás**

En diferentes tipos de ecosistemas la respiración del suelo varía grandemente. La tasa de respiración anual del suelo varía hasta veinte veces entre los diferentes tipos de ecosistemas (Tabla 1). A escala global, entre diferentes biomas la tasa de respiración del suelo anual correlaciona positivamente con el promedio de productividad de la planta. La producción primaria suministra sustrato orgánico para actividad microbial y raíces. En pastizales la tasa de respiración del suelo son aproximadamente 20 % más que en bosques. Usualmente los pastizales alojan más fotosíntesis debajo del suelo que los bosques. Los bosques alojan más carbono en la producción de madera. Los campos de cultivo tienen tasas de respiración del suelo 20 % más alto que los campos de cultivo sin sembrar. Los pastizales tienen 25 % de tasa de respiración del suelo más que los campos de cultivo sembrado.

**Tabla 1.** Tasa promedio de respiración del suelo ( $t\ CO_2\ ha^{-1}\ año^{-1}$   $\pm$  EE) en diferentes tipos de vegetación.

<b>Tipo de vegetación</b>	<b>Tasa de respiración del suelo</b>
Planicie de tundra helada	2,20 $\pm$ 6
Bosques y bosques boreales	11,79 $\pm$ 31
Pastizales templados	16,19 $\pm$ 78
Bosques templados de coníferas	24,95 $\pm$ 95
Bosques caducifolios templados	23,70 $\pm$ 51
Bosques mediterráneos y brezo	26,12 $\pm$ 88
Tierras de cultivo, campo, etc.	19,93 $\pm$ 80
Matorrales de desierto	8,20 $\pm$ 38
Sabanas tropicales y pastizales	23,04 $\pm$ 53
Bosques secos tropicales	24,65 $\pm$ 134
Bosques húmedos tropicales	46,17 $\pm$ 57
Pantanos del norte y turberas	3,44 $\pm$ 16
Pantanos	15,13 $\pm$ 76

Fuente: Yiqi y Luo (2006).

#### **1.5.4. Métodos de estimaciones de flujo de $CO_2$**

Se ha desarrollado varios métodos de medición de la respiración del suelo con el fin de obtener datos más exactos. El más usado es el método de la cámara, el cual proporciona datos directos de la respiración del suelo. El método de la cámara pueda ser categorizado como un método dinámico o estático,

dependiendo si dentro de la cámara circula aire. El método de la cámara dinámica permite que el aire circule en la cámara y en el sensor de medición, el cual usualmente es un analizador de gas infrarrojo, que mide concentración de CO<sub>2</sub> en la cámara cada tiempo. El más usado es el método de la cámara dinámica cerrada, el cual opera de un modo completamente cerrado y la concentración de CO<sub>2</sub> es medido cada corto tiempo. Se ha desarrollado también, el método de la cámara dinámica abierta, el cual opera con una ventilación continua. El método de la cámara estática cerrada aísla una cantidad de atmósfera del medio ambiente y con una solución álcali atrapa el CO<sub>2</sub>, con la cámara estática la concentración de CO<sub>2</sub> es medida y analizada con un gas cromatográfico y estimar la tasa de respiración del suelo. Otros métodos de estimación de la respiración del suelo, es el "pozo de gas", el cual estima los gradientes de concentración de CO<sub>2</sub> del perfil vertical del suelo. El método de covarianza de Eddy y relación de Bowen equilibrio energía realizan a partir de mediciones de intercambio neto del ecosistema de carbono por métodos micrometeorológicos.

El sistema desarrollado por PP System in Hitchin, U. K., consiste en una cámara de medición de respiración del suelo y un gas de medidor ambiental o un analizador de gas infrarrojo.

El sistema portable del método de la cámara dinámica cerrada desarrollada por Li-Cor BioSciences in Lincoln, Nebraska, combina el analizador de gas Li-Cor 6200 con la cámara Li 6000-09 o el analizador de gas Li-Cor 6400 con la cámara de suelo Li 6400-09. Se ha desarrollado también el Li-Cor 8100 es un sistema completamente automático que puede realizar varias mediciones en un solo punto cada tiempo. SCR-1000 y SCR-2000 desarrollado por Dinamax en Houston, Texas, consiste en una consola de programación y una cámara de respiración del suelo.

#### **1.5.5. Analizador de Gases Infrarrojo (EGM-4)**

El EGM-4 es un analizador de gases infrarrojo que puede determinar concentraciones de dióxido de carbono. El EGM-4 aplica el método de la cámara dinámica cerrada el cual consiste de una cámara de respiración del suelo SRC-1 y un monitor de gas ambiental (EGM-4) (Luo & Zhou, 2006).

La respiración del suelo es cuantificada cuando una cámara (SRC-1) es situado sobre el suelo y la tasa de incremento de CO<sub>2</sub> es medido. El aire dentro de la cámara es mezclado cuidadosamente sin generar diferencia de presión. La concentración de CO<sub>2</sub> es medido cada ocho segundos por el EGM-4 y una función cuadrática ajusta la relación entre el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> con el tiempo. La medición de la respiración del suelo termina si la lectura supera los 60 ppm o si llega a los 120 segundos desde que la cámara es colocada sobre el suelo (Luo & Zhou, 2006). La concentración de CO<sub>2</sub> en la cámara aumenta debido a la liberación de CO<sub>2</sub> debajo del suelo. El incremento de la tasa de CO<sub>2</sub> del suelo es proporcional a la respiración del suelo. El EGM-4 determina la tasa de respiración usando dos valores de concentración de CO<sub>2</sub> del inicio y el final, este incremento de la cantidad de CO<sub>2</sub> del suelo es usado para dejar la tasa de respiración del suelo, mediante la siguiente ecuación (Field, Ball, & Berry, 2000):

$$F = \frac{(C_f - C_i) V}{\Delta t A}$$

Donde C<sub>i</sub> es la inicial y C<sub>f</sub> la final de la concentración de CO<sub>2</sub>, V es el volumen del sistema, t es el tiempo entre los puntos

de medidas de  $\text{CO}_2$  y  $A$  es la superficie de área que cubre la cámara sobre el suelo.

En las mediciones de respiración del suelo en campo se usa un collar con las medidas exactas de la cámara que es usualmente instalado a cierta profundidad del suelo. El equilibrio de la presión entre el aire en la cámara y el aire circundante se mantiene por un tubo de ventilación. El aire en la cámara es mezclado usando un diafragma de la bomba de muestreo de aire, el aire circula a través de la cámara con una velocidad de flujo constante. El aire de la cámara es retirado de la parte superior de la cámara, pasa a través del sensor de  $\text{CO}_2$ , para medir continuamente la concentración de  $\text{CO}_2$  y reingresa a la cámara a través de un anillo dispersor de aire en la parte inferior. La concentración de  $\text{CO}_2$  puede ser obtenida entre 1 hasta los 15 min, esto depende del diseño del sistema y la magnitud de la respiración del suelo. Los productos comercialmente disponibles están diseñados bajo los principios del método de la cámara dinámica cerrada.

## **II MATERIAL Y MÉTODO**

### **2.1. Ubicación y delimitación del área de estudio**

El área de estudio comprende, las once parcelas no continuas dentro del Distrito de Jenaro Herrera, Provincia de Requena, Departamento Loreto. La ubicación geográfica es Datum WGS 84 / UTM zona 18S 647 482,97 m E y 9 457 312,53 m S, a una altitud de 109 m.

### **2.2. Población y muestra**

#### **2.2.1. Población**

La población está compuesta por las once parcelas de estudio.

#### **2.2.2. Muestra**

La respiración del suelo de cada tubo de medición dentro de una subparcela.

### **2.3. Diseño de investigación**

El presente trabajo de investigación es de tipo no experimental, inferencial y longitudinal de panel, con once parcelas como poblaciones, cada parcela fue sometida a tratamiento comparativo

entre las mismas, también, agrupadas según los diferentes períodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica.

## **2.4. Método**

Para realizar el presente trabajo se recurrirá a las siguientes técnicas y métodos:

### **2.4.1. Instalación de parcelas**

La instalación de parcelas es una actividad previa al trabajo actual realizado, llevado a cabo por el personal profesional y técnico del IIAP. Las parcelas son once ecosistemas de estudio, bajo la denominación de: Varillal (VAR), el cual es una extensión de bosque con suelo de arena blanquecina y árboles delgados y rectos (Encarnación, 1993), sin antecedentes de deforestación. Bosque de terraza alta (BTA), son extensiones planas u onduladas, no llegan a inundarse, alejados de los cauces de los ríos (Encarnación, 1993), sin antecedentes de deforestación. Plantación de Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) (PTO) y Plantación de Huacapu (*Minguartia guianensis*) (PHU), son masas boscosas formadas antropicamente con fines de reforestación, no inundables. Pasto degradado (PDE), vegetación abandonada ocupada por

especies herbáceas con antecedentes de pastoreo. Pasto activo (PAC), vegetación ocupada por especies herbáceas con fines pecuarios. Chacra (CHA), extensión con cubierta de sembríos agrícolas. Purma (PUR), son bosques regenerados en tierras abandonadas con antecedentes de deforestación. Restinga baja I (RBI) y Restinga baja II (RBII) extensión de bosque inundada de agua blanca en período de creciente del Río Ucayali (Nebel, Peter, *et al.*, 2001), sin historial de deforestación. Aguajal (AGU), son extensiones de comunidades dominantes de aguaje (*Mauritia flexuosa*), alejados de cuerpos de agua blanca y estacionalmente inundados por aguas negras o de mezcla, sin historial de deforestación; estas parcelas son clasificados bajo períodos de inundación anual como ecosistemas inundados y no inundados (Tabla 2); y niveles de perturbación antrópica, esto es, bosque primario, bosque degradado y bosque en recuperación (Tabla 3). Las parcelas ocupan una superficie de una hectárea y están divididas en 25 subparcelas de 20 x 20 m. Los tubos de medición (tubos de pvc, ver detalles en equipos y materiales) se instalaron en el centro de cada subparcela a una profundidad aproximada de 5 cm.

**Tabla 2.** Clasificación de ecosistemas según período de inundación anual.

<b>Ecosistemas según período de inundación anual</b>	
<b>Parcelas no inundadas</b>	<b>Parcelas inundadas</b>
Chacra	Restinga baja I
Pasto degradado	Plantación de Huacapu
Pasto activo	Aguajal
Plantación de tornillo	Restinga baja II
Purma	
Bosque de terraza alta	
Varillal	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.** Clasificación de ecosistemas según niveles de perturbación antrópica.

<b>Ecosistemas según niveles de perturbación antrópica</b>		
<b>Bosque primario</b>	<b>Bosque degradado</b>	<b>Bosque en recuperación</b>
Restinga baja I	Chacra	Plantación de Huacapu
Aguajal	Pasto activo	Pasto degradado
Bosque de terraza alta		Plantación de tornillo
Restinga baja II		Purma
Varillal		

Fuente: Elaboración propia.

Las parcelas se instalaron, siguiendo los procedimientos establecidos por la Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR) (Marthews *et al.*, 2012).

#### **2.4.2. Toma de datos**

Los procedimientos de toma de datos son parte de la actividad de apoyo del personal técnico de la entidad.

##### **A. Respiración del suelo**

Para el registro de la respiración del suelo se usó un analizador de gases infrarrojo (EGM-4) junto con una cámara de respiración del suelo SRC-1. Antes de proceder con la medición en los puntos de muestreo, se procedió a la programación del equipo, luego se inició la medición del CO<sub>2</sub> del medio ambiente por un lapso de 15 segundos. La cámara de respiración del suelo SRC-1 se mezcló cuidadosamente el aire para asegurar un muestreo representativo sin generar diferencias de presión, durante este lapso se mantuvo alejado de cualquier agente emisor de CO<sub>2</sub>, para evitar que el equilibrio del CO<sub>2</sub> en el ambiente se altere. Luego de este tiempo se colocó la cámara de respiración del suelo SRC-1

sobre el tubo de medición (tubos de pvc) insertado sobre suelo en el punto de muestreo y se procedió a registrar la respiración. El EGM-4 registró los datos en su memoria interna, por lo cual se transfirió los datos a un computador para su posterior análisis (Marthews *et al.*, 2012).

## **B. Profundidad del tubo de medición**

La profundidad consistió en medir la distancia entre el suelo y la parte superior del tubo de medición, para esto, se usó una regla metálica, la cual será colocada en tres puntos equidistantes de la pared interna del tubo de medición. Esta medición sirvió para calcular el volumen adicional del tubo y se realizó luego del registro de respiración del suelo.

## **C. Temperatura y humedad del suelo**

Se usó un higrómetro y un termómetro digital, los cuales se insertaron en el suelo dentro y fuera (10 cm de radio) del tubo de medición. En cada medición se esperó un breve momento para que el registro se estabilice. Finalmente, también se registró la temperatura del aire. Este procedimiento se realizó al mismo tiempo del registro de la respiración del suelo.

### 2.4.3. Procesamiento de datos

#### D. Cálculo de la respiración del suelo

Los datos tomados en campo y descargados al computador se exportaron en un archivo de Excel (xls.). Se determinó la respiración del suelo ( $\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), usando la siguiente ecuación (Marthews *et al.*, 2012).

$$R_{uc} = \frac{C_{10}-C_1}{t_{10}-t_1} * \frac{P}{(T_a+273.15)} * \frac{V_d}{A} * \frac{44.01*0.36}{R_u} \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$$

Donde:

$R_{uc}$  = Respiración en  $\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

$C_{10} - C_1$  = Concentración de  $\text{CO}_2$  en ppm de los registros 10° y 1°.

$t_{10} - t_1$  = Tiempo transcurrido desde que empieza la medición en los registros 10° y 1°.

$P$  = presión atmosférica del registro 10°.

$T_a$  = Temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$V_d$  = Volumen de la cámara de respiración del suelo  $\text{m}^3$   
( $V_d = \pi r^2 h$ ).

$A = \text{Área de la sección del tubo en m}^2 (A=\pi r^2).$

$R_u = \text{Constante universal de los gases (8.31432 J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}).$

### **E. Corrección del volumen de la cámara de respiración del suelo**

Para obtener la respiración real del punto de muestreo, la respiración del suelo calculada inicialmente fue corregida con el volumen adicional del tubo de medición. Por lo cual se aplicó la siguiente ecuación (Marthews *et al.*, 2012):

$$R_c = R_{uc} \frac{V_d + V_a}{V_d}$$

Donde:

$R_c = \text{Respiración corregida.}$

$R_{uc} = \text{Respiración en t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}.$

$V_a = \text{Volumen adicional (Determinado con la profundidad del tubo de medición).}$

$V_d = \text{Volumen de la cámara de respiración del suelo.}$

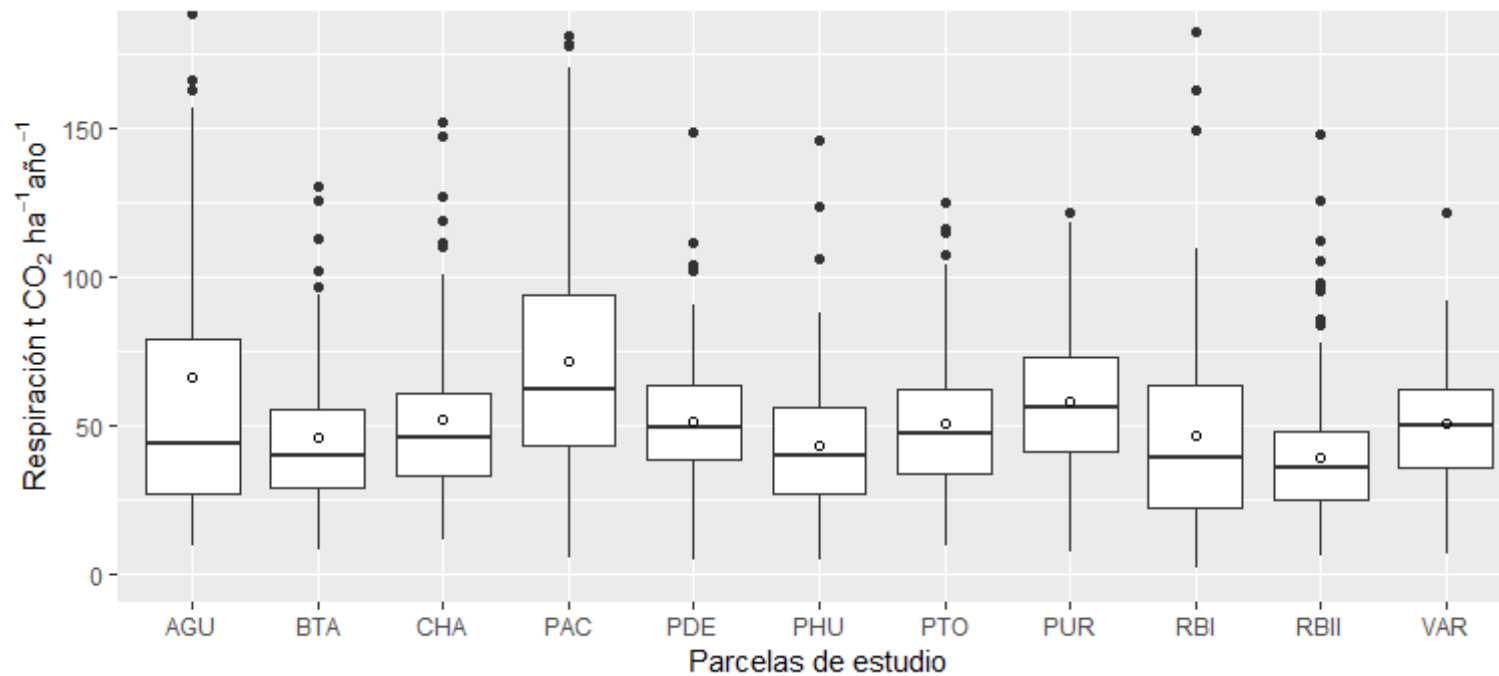
## **F. Análisis de información**

Se realizó dos repeticiones para cada muestra tomada. Para el análisis de datos obtenidos se empleó el análisis de varianza de medidas repetidas y prueba de Friedman para la variación temporal, suma de rangos de Wilcoxon para las parcelas con diferentes períodos de inundación, Kruskal-Wallis con post-hoc Dunn para las parcelas con niveles de perturbación antrópica y correlación con la humedad y temperatura.

### III RESULTADOS

#### 3.1. Respiración del suelo en las parcelas de investigación

El valor mayor de respiración del suelo es en la parcela de Pasto activo y menor en la parcela Restinga baja II con 71,80 y 39,27 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente (Anexo 1).

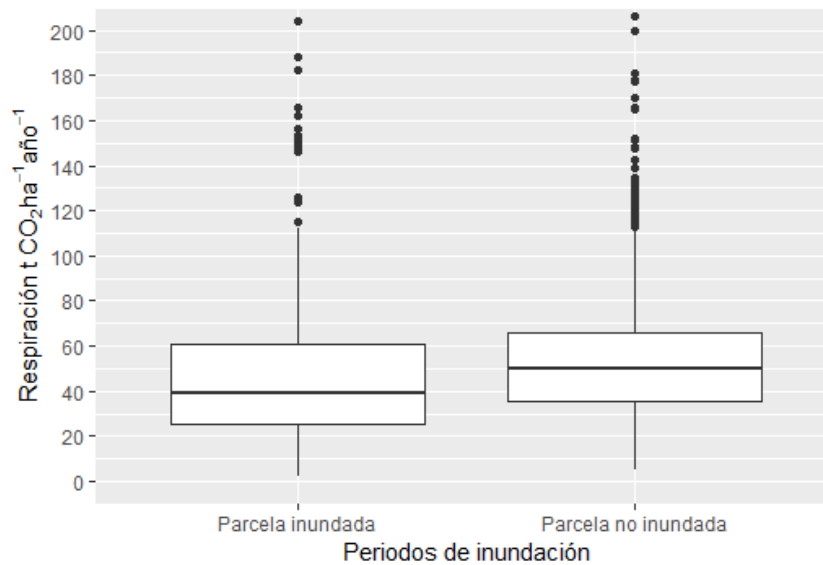


**Gráfico 1.** Promedio de respiración de suelo en las diferentes parcelas de estudio.

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

### 3.2. Períodos de inundación anual

El conjunto de datos no presenta una distribución normal, tanto en ecosistemas inundados ( $Z = 0,17$ ,  $p < 0,05$ ) como no inundados ( $Z = 0,10$ ,  $p < 0,05$ ) (Anexo 2). Por lo tanto, la prueba suma de rangos de Wilcoxon ( $p < 0,05$ ; Anexo 3) demostró estadísticamente que hubo diferencia significativa en la respiración de suelo entre las parcelas inundadas (RBI, AGU, RBII y PHU) y no inundadas (PTO, VAR, PDE, PAC, CHA, PUR y BTA). Mientras que, se encontró la misma diferencia en los valores promedios de cada conjunto de datos, de este modo, las parcelas no inundadas presentaron valores más altos:  $54,43 \pm 0,87$  EE (error estándar) y  $49,06 \pm 1,94$  t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente (Anexo 4).



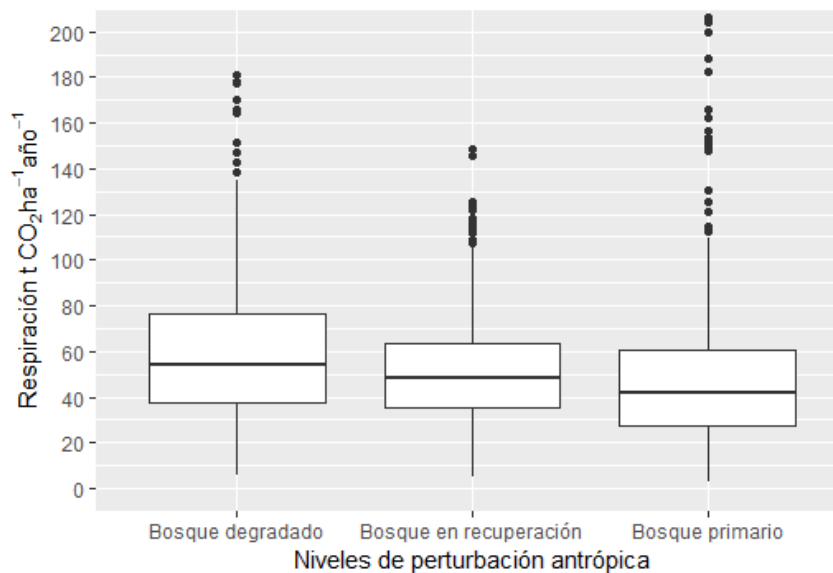
**Gráfico 2.** Valores promedios de las parcelas con diferentes períodos de inundación.

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

### 3.3. Niveles de perturbación antrópica

Las parcelas de bosque primario, bosques degradado y bosque en recuperación, los datos no presentan una distribución normal  $Z = 0,17, p < 0,05$ ;  $Z = 0,14, p < 0,05$  y  $Z = 0,06, p < 0,05$  (Anexo 5), respectivamente. Por lo tanto, la prueba estadística suma de rangos de Kruskal-Wallis post-hoc Dunn  $p < 0,05$  (Anexo 6 y 7) indicó que existe diferencia significativa en las parcelas seleccionadas bajo los niveles de perturbación antrópica.

Los niveles de perturbación antrópica demuestran una diferencia decreciente de la respiración del suelo desde parcelas de bosques degradados seguido de bosques en recuperación y bosque primario ( $62,02 \pm 2,08$ ,  $50,94 \pm 0,95$  y  $49,93 \pm 1,60$  t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente) (Anexo 8).



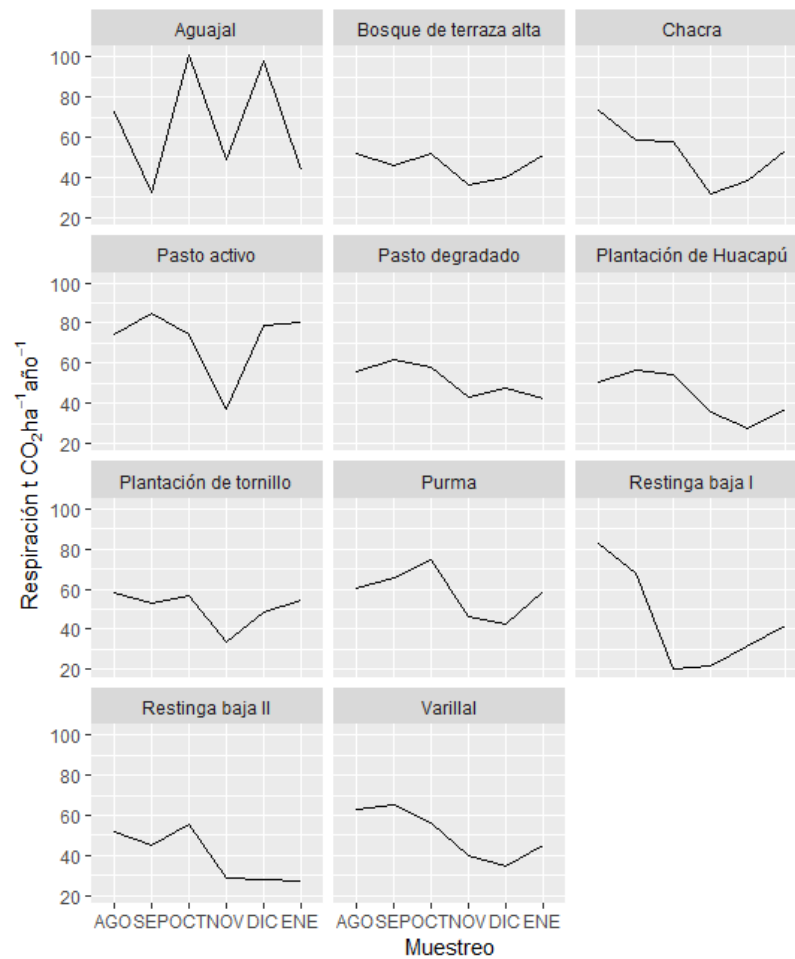
**Gráfico 3.** Valores promedios de las parcelas con niveles de perturbación antrópica.

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

### 3.4. Variación temporal

Las parcelas evaluadas presentan variación de la respiración del suelo entre los meses de agosto de 2014 hasta enero de 2015

( $p < 0,05$ ). En la mayoría de las parcelas muestran una tendencia decreciente durante la época lluviosa (Gráfico 4). La parcela AGU presenta una mayor variabilidad de respiración del suelo como se muestra en el gráfico.



**Gráfico 4.** Variación temporal de la respiración del suelo durante los meses de agosto a enero.

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

### 3.5. Temperatura

La correlación de la respiración del suelo con la variable temperatura es positiva en casi todos los casos (Tabla 4). Los ecosistemas de PUR y AGU no mantienen ninguna correlación con la temperatura. Los ecosistemas de CHA y BTA mantiene correlación con la temperatura ambiental *in situ* (TAI) y temperatura del suelo (TS) respectivamente (Tabla 4). Los resultados demuestran una predominancia de correlación de la respiración del suelo con la temperatura.

**Tabla 4.** Correlación de la respiración del suelo con las tomas de muestras de temperatura.

T°	RBI	BTA	CHA	PAC	PDE	PHU	PTO	PUR	AGU	RBII	VAR
<b>TSD</b>	0,478 (<,001)	0,162 (,048)	0,135 (,101)	0,247 (,002)	0,338 (<,001)	0,330 (<,001)	0,187 (,022)	0,127 (,122)	-0,134 (,136)	0,264 (,001)	0,416 (<,001)
<b>TSF</b>	0,518 (<,001)	0,205 (,012)	-0,058 (,480)	0,264 (,001)	0,375 (<,001)	0,362 (<,001)	0,208 (,011)	0,104 (,208)	-0,113 (,209)	0,280 (,001)	0,399 (<,001)
<b>TAI</b>	0,386 (<,001)	0,124 (,132)	0,303 (<,001)	0,232 (,004)	0,374 (<,001)	0,387 (<,001)	-0,173 (,034)	0,079 (,338)	0,005 (,955)	0,337 (<,001)	0,334 (<,001)

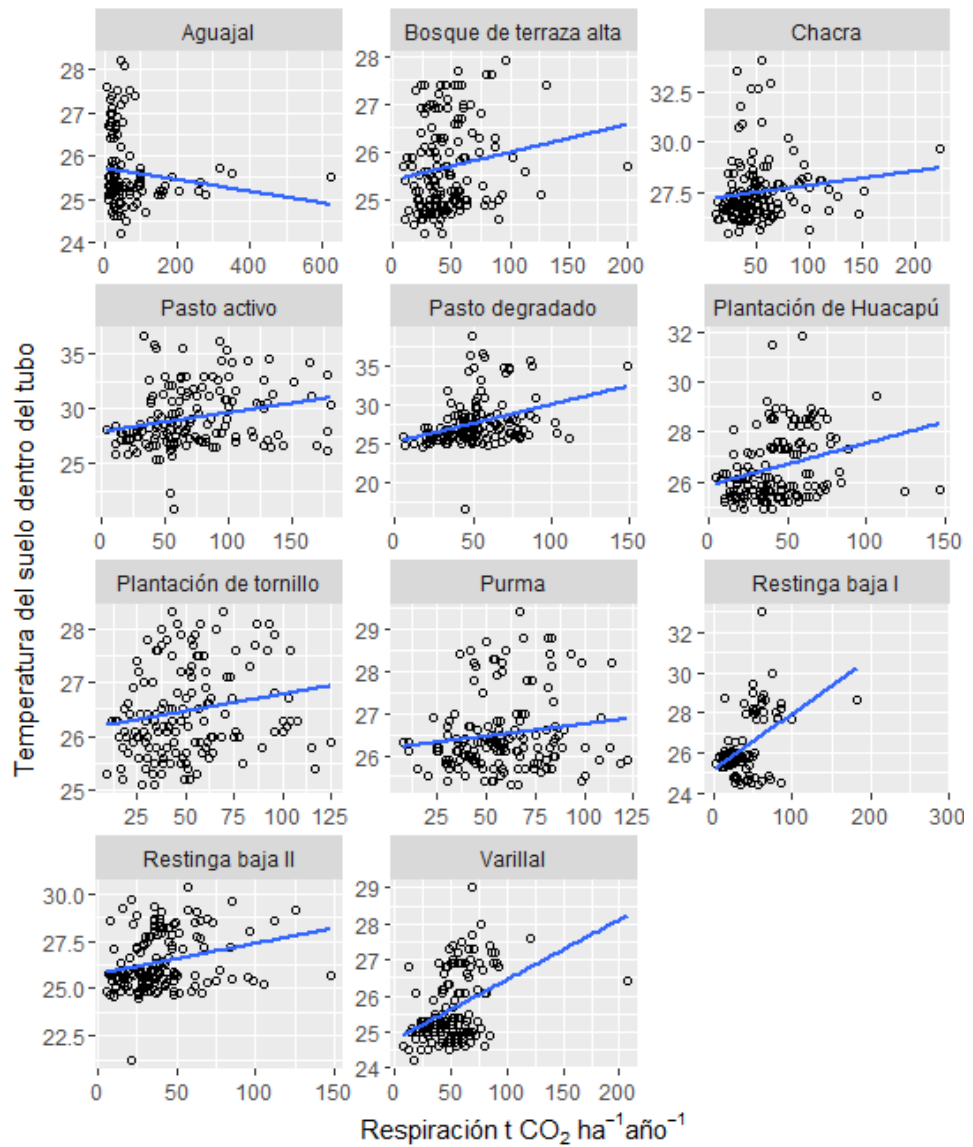
Computed correlation used pearson-method and spearman-method in PHU and PUR.

TSD: Temperatura del suelo dentro del tubo.

TSF: Temperatura del suelo fuera del tubo.

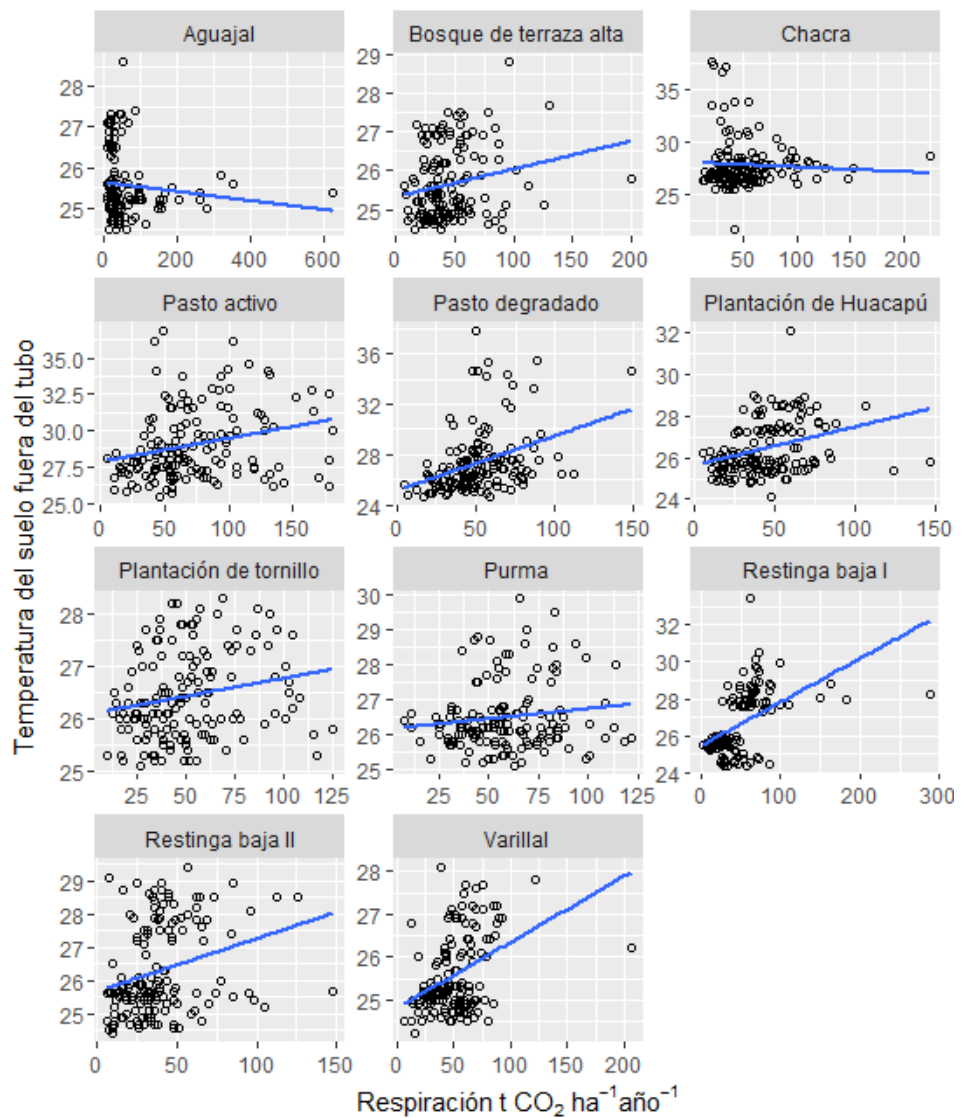
TAI: Temperatura ambiental.

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.



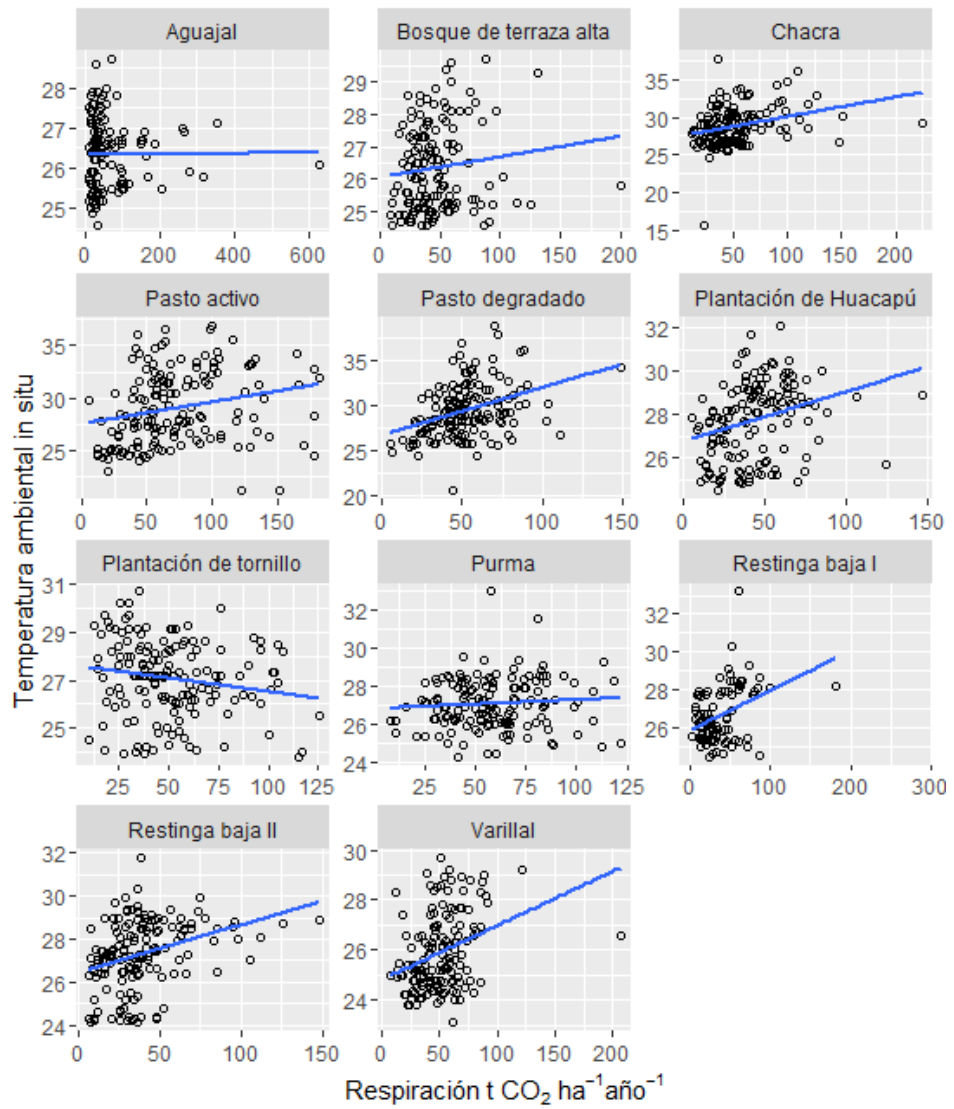
**Gráfico 5.** Correlación de la temperatura de suelo dentro del tubo (TSD) con la respiración del suelo en las parcelas de evaluación.

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.



**Gráfico 6.** Correlación de la temperatura de suelo fuera del tubo (TSF) con la respiración del suelo en las parcelas de evaluación.

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.



**Gráfico 7.** Correlación de la temperatura de suelo *in situ* con la respiración del suelo en las parcelas de evaluación.

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

### **3.6. Humedad**

La correlación de la respiración del suelo con humedad es inversamente proporcional para todas las parcelas. Los ecosistemas de PAC y AGU no presentan una correlación significativa. PDE y PUR no presentan correlación con la humedad dentro del tubo (HD) y de la misma manera sucede con PTO con la humedad fuera del tubo (HF).

**Tabla 5.** Correlación de la respiración del suelo con las tomas de muestra de humedad del suelo.

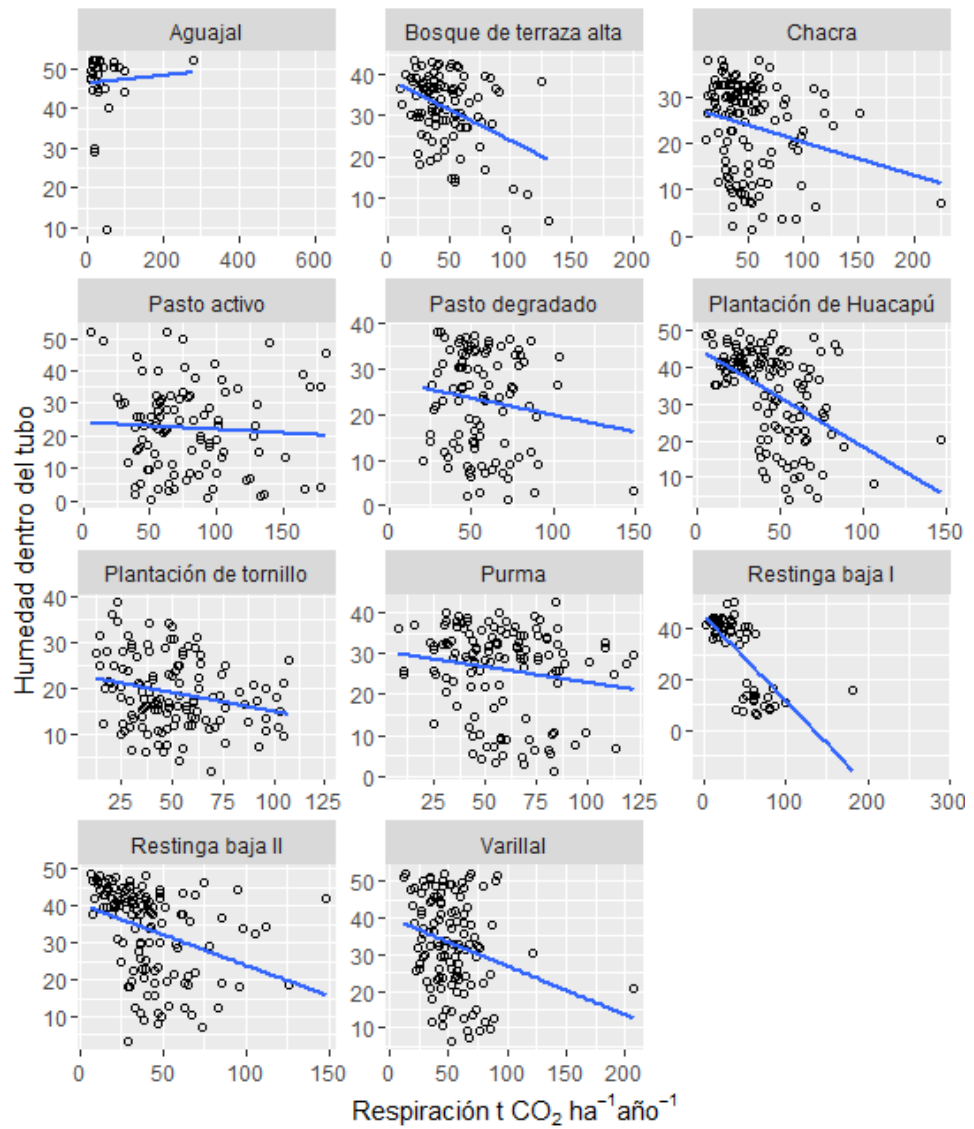
T°	RBI	BTA	CHA	PAC	PDE	PHU	PTO	PUR	AGU	RBII	VAR
<b>HD</b>	-0,715 (<,001)	-0,403 (<,001)	-0,221 (,014)	-0,062 (,541)	-0,137 (,175)	-0,505 (<,001)	-0,244 (,006)	-0,171 (,056)	0,056 (,758)	-0,350 (<,001)	-0,254 (,006)
<b>HF</b>	-0,507 (<,001)	-0,415 (<,001)	-0,239 (,008)	-0,030 (,765)	-0,259 (,009)	-0,547 (<,001)	-0,128 (,156)	-0,211 (,018)	0,182 (,164)	-0,393 (<,001)	-0,253 (,005)

Computed correlation used pearson-method and spearman-method in PHU and PUR.

HD: Humedad del suelo dentro del tubo.

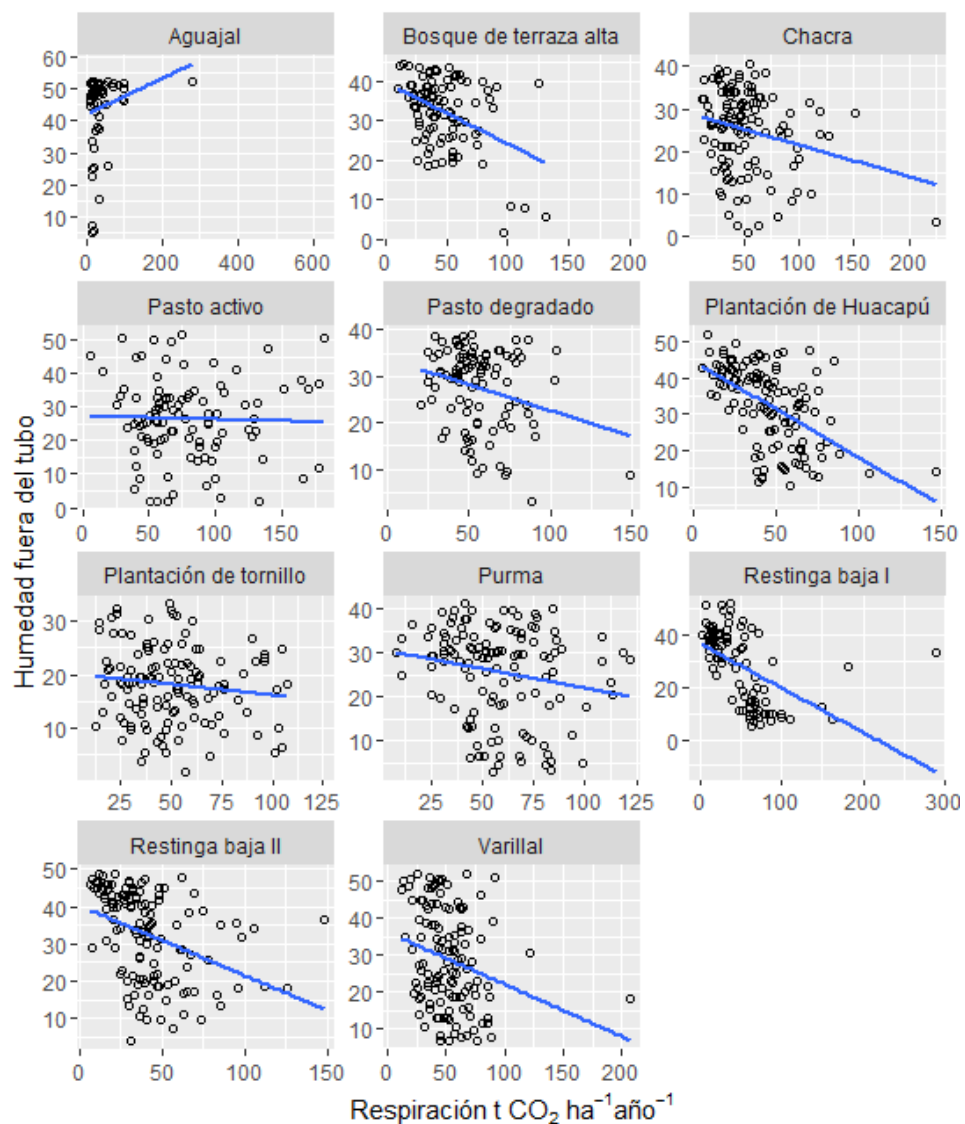
HF: Humedad del suelo fuera del tubo.

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.



**Gráfico 8.** Correlación de la humedad de suelo dentro del tubo con la respiración del suelo en las parcelas de evaluación.

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.



**Gráfico 9.** Correlación de la humedad de suelo fuera del tubo con la respiración del suelo en las parcelas de evaluación.

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

#### IV DISCUSIÓN

El valor promedio de respiración obtenido en ecosistemas inundados ( $49,06 \pm 0,87 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), se encuentra dentro del rango de parcelas inundadas en ríos amazónicos y pantanos de Brasil con valores de  $3,15 - 93,03 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y es ligeramente mayor al promedio del mismo estudio ( $39,73 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) (Sjogersten *et al.*, 2014). Mientras que, el valor obtenido en este estudio es bastante similar a la respiración de las planicies inundables en la Amazonía ( $47,63 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) (Richey, Devol, Wofsy, Victoria, & Riberio, 1988). Para el caso de parcelas no inundadas, el promedio de respiración es  $54,43 \pm 1,94 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , el cual, se encuentra dentro del rango para áreas no inundadas en distintos sitios de la Amazonía:  $33,30 \pm 0,4 - 105 \pm 0,5 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Zanchi *et al.*, 2012).

La respiración del suelo entre los ecosistemas inundados y no inundados presentan diferencia significativa debido al efecto del contenido de agua en el suelo durante los períodos de inundación, ya que, afecta la tasa de difusión de  $\text{CO}_2$  en los perfiles del suelo (Davidson, Verchot, Henrique Cattânio, Ackerman, & Carvalho, 2000). Lo que concuerda con la correlación negativa reportada entre el flujo de  $\text{CO}_2$  y los espacios de poros llenos de agua ( $r = -0,37$ ,  $p = 0,02$ ) (Batson *et al.*, 2015). Por otra parte, en los suelos cercanos a los ríos (casi

saturados) la respiración del suelo decrece 55,50 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, (Zanchi *et al.*, 2014), lo cual se asemeja a lo obtenido en este estudio: mayor respiración de suelo en las parcelas no inundadas.

Para los ecosistemas con diferentes niveles de perturbación, el bosque primario presenta valores de respiración de suelo entre 39,27 ± 1,95 – 66,11 ± 6,17 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, el cual está dentro del rango de estudios realizados en bosques prístinos de la Amazonía (34,69 – 83,26 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Zanchi *et al.*, 2014). Mientras que, el bosque en recuperación presenta un valor similar (50,94 ± 0,95 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) al promedio obtenido en bosque secundario y pasto degradado en la Amazonía: 51,30 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Davidson *et al.*, 2000). Asimismo, el valor obtenido en las parcelas de pasto degradado y activo de este estudio (categoría bosque degradado) se encuentran, dentro del rango de pastos activos en la Amazonía: 54,96 (Davidson *et al.*, 2000) y 87,94 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Salimon *et al.*, 2004).

El patrón de resultados del presente estudio son similares a los valores obtenidos en otros sistemas con cambio de uso de suelo; donde, la conversión de bosque a tierras de cultivo, seguida de la conversión a praderas y bosques secundarios contribuyen con un cambio en la emisión neta de 7,3 ± 0,6, 5,9 ± 0,3 y 3,2 ± 0,3 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>,

respectivamente (Kim & Kirschbaum, 2015). Asimismo, en la amazonia los pastos presentan una tasa de respiración de suelo mayor ( $87,94 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) que en bosques secundarios y maduros (sin antecedentes de tala):  $58,62$  y  $62,29 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente (Salimon *et al.*, 2004). Lo que también concuerda con lo registrado en este estudio.

La respiración del suelo es mayor en ecosistemas con perturbación antrópica ( $62,02 \pm 2,08 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y menor en ecosistemas no perturbados ( $49,93 \pm 1,60 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Mientras que los ecosistemas en recuperación disminuye la respiración del suelo ( $50,94 \pm 0,95 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), obteniendo valores similares a los bosques no perturbados, con una diferencia de  $1,00 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Dicha variabilidad, se debe a que la perturbación antrópica influye en varios procesos de producción y transporte del  $\text{CO}_2$  en el suelo (Luo & Zhou, 2006). Además, el cambio de uso de suelo causa un cambio en la cubierta del suelo y en las reservas de carbono orgánico del suelo y en la biomasa de la vegetación (Bolin & Sukumar, 2000) incrementando el  $\text{CO}_2$  atmosférico (Don, Schumacher, & Freibauer, 2011; Murty, Kirschbaum, McMurtrie, & McGilvray, 2002).

El pasto activo mostró un promedio de respiración del suelo mayor que los demás ecosistemas ( $71,81 \pm 3,21 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ),

mostrando resultados similares a los bosques del suroeste de la Amazonía (Salimon *et al.*, 2004). Probablemente se deba a que, en los pastos una fracción significativa de la productividad primaria bruta (entrada de carbono) es alojada debajo del suelo (Salimon *et al.*, 2004). Asimismo, se demostró que la productividad primaria se incrementa en gran medida en pastos productivos y podría resultar en la disminución del secuestro de carbono en el suelo y en altas tasas de respiración (Trumbore, Davidson, Camargo, Nepstad, & Martinelli, 1995).

La respiración del suelo mantiene una correlación positiva, pero débil ( $r < 0.5$ ), con la temperatura en la mayoría de los casos. Estos resultados concuerdan con la asociación positiva existente (bajo distintas intensidades) entre las mismas variables en otros estudios revisados (Hashimoto *et al.*, 2015; Iqbal, Lin, Hu, & Feng, 2009; Raich & Schlesinger, 1992; E. D. Sotta *et al.*, 2006; Eleneide Doff Sotta *et al.*, 2004; Zanchi *et al.*, 2012, 2014). Sin embargo, se debe remarcar que otros autores indican que no existe correlación entre la respiración y la temperatura (Kiese & Butterbach-Bahl, 2002; Salimon *et al.*, 2004), lo cual concuerda con lo reportado para las parcelas de PUR y AGU.

La correlación entre la humedad y la respiración del suelo es inversamente proporcional en todas las parcelas en estudio, lo cual se asemeja a otros reportes en bosques Amazónicos (E. D. Sotta *et al.*,

2006) y difiere de los estudios que registran una relación positiva entre ambas variables (Kiese & Butterbach-Bahl, 2002; Salimon *et al.*, 2004). Sin embargo, las parcelas de AGU y PAC no presentan correlación con la humedad (Tabla 5), lo que podría ser explicado por la constante saturación de agua en el suelo de la parcela de AGU. Cabe resaltar que, la humedad en el suelo actúa como obstaculizador del flujo del CO<sub>2</sub> disminuyendo la respiración del suelo hacia la atmósfera debido al llenado de aire de los poros del suelo (Jassal *et al.*, 2005; Kiese & Butterbach-Bahl, 2002).

La respiración del suelo presenta variación temporal en todas las parcelas de evaluación ( $p < 0,05$ ) (Anexo 10 al 20), dichos resultados difieren con los bosques amazónicos del este en Brasil, donde la respiración del suelo no difiere entre la estación seca y lluviosa (E. D. Sotta *et al.*, 2006). Durante los meses con mayor incidencia de lluvias (octubre a mayo) (Nebel, Dragsted, & Salazar, 2001) se observó una disminución de la respiración del suelo, lo que también ha sido reportado en otros estudios (E. D. Sotta *et al.*, 2006; Eleneide Doff Sotta *et al.*, 2004, 2007), que incluyen un aumento de la respiración en la estación seca de la Amazonia central (Chambers *et al.*, 2013). No obstante, los resultados difieren de lo reportado para bosques tropicales del suroeste de Asia (Kosugi *et al.*, 2007), suelos cultivables de Brasil

(Cruvinel, da Bustamante, Kozovits, & Zepp, 2011), bosques tropicales de Brasil (De & De, 2004; Valentini *et al.*, 2009), de Tailandia (Hashimoto *et al.*, 2004), de Australia (Kiese & Butterbach-Bahl, 2002) y de la Península de Malasia (Kosugi *et al.*, 2008); donde las tasas de respiración son mayores en la época lluviosa en comparación a la época seca.

## **V CONCLUSIÓN**

- La respiración del suelo es menor en períodos prolongados de inundación.
- Las parcelas altamente perturbadas tienen el valor más alto de respiración del suelo.
- La respiración del suelo presenta variación temporal sujeta a los cambios de estacionalidad de lluvias.
- La respiración del suelo generalmente se correlaciona de forma positiva con la temperatura del suelo y ambiental.
- La respiración del suelo generalmente se correlaciona de forma negativa con la humedad del suelo.

## **VI RECOMENDACIONES**

- Estimar la respiración del suelo con nuevos métodos de amplio espectro.
- Realizar estudios basados en respiración del suelo por componentes y evidenciar qué componente emite más dióxido de carbono.
- Seleccionar más parcelas de monitoreo y continuar las estimaciones de respiración del suelo para un mejor entendimiento de su comportamiento.

## VII BIBLIOGRAFÍA

1. **Baldocchi, D., Falge, E., Lianhong, G., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., ... Evans, R.** (2001). FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(11), 2415 – 2434.
2. **Batson, J., Noe, G. B., Hupp, C. R., Krauss, K. W., Rybicki, N. B., & Schenk, E. R.** (2015). Soil greenhouse gas emissions and carbon budgeting in a short-hydroperiod floodplain wetland. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120(1), 77 – 95.
3. **Bolin, B., and Sukumar, R.** (2000). Global perspective. In Land use, land-use change and forestry: A special report of the IPCC (R. T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo, and D. J. Dokken, eds.), pp. 23 – 51, Cambridge University Press, UK.
4. **Chambers, J. Q., Tribuzy, E. S., Toledo, L. C., Crispim, B. F., Santos, J., Araújo, A. C., ... Trumbore, E.** (2013). Respiration from a Tropical Forest Ecosystem: Partitioning of Sources and Low Carbon Use Efficiency Published by : Ecological Society of America Respiration From A Tropical Forest Ecosystem : Partitioning Of Sources And Low Carbon Use Efficiency, 14(4), 72 – 88.

5. **Chang, Wiston.** (2012). *R Graphics Cookbook*. O'Reilly Media, Inc. Sebastopol.
6. **Chapin, F. S., Matson, P. a, & Mooney, H. A.** (2002). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. System* (Vol. 21).
7. **Chimner, R. A.** (2004). Soil respiration rates of tropical peatlands in Micronesia and Hawaii. *Wetlands*, 24(1), 51-56.
8. **Cox, P. M., Betts, R. A., Collins, M., Harris, P. P., Huntingford, C., & Jones, C. D.** (2004). Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology*, 78(1 – 3), 137 – 156.
9. **Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A., & Totterdell, I. J.** (2000). Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408(6809), 184 – 187.
10. **Crawford, R.** (1992). Oxygen availability as an ecological limit to plant distribution. *Advances in ecological research*, 23, 93-185.
11. **Cruvinel, Ê. B. F., da Bustamante, M. M. C., Kozovits, A. R., & Zepp, R. G.** (2011). Soil emissions of NO, N 2O and CO 2 from croplands in the savanna region of central Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144(1), 29 – 40.

12. **Curiel yuste, J., Janssens, I. A., Carrara, A., & Ceulemans, R.** (2004). Annual Q10 of soil respiration reflects plant phenological patterns as well as temperature sensitivity. *Global Change Biology*, 10(2), 161 – 169.
13. **Curtin, D., Wang, H., Selles, F., McConkey, B. G., & Campbell, C. A.** (2000). Tillage Effects on Carbon Fluxes in Continuous Wheat and Fallow–Wheat Rotations. *Soil Science Society of America Journal*, 64(6), 2080.
14. **Davidson, E. a, Verchot, L. V, Henrique Cattânio, J., Ackerman, I. L., & Carvalho, J. E. M.** (2000). Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry*, 48(1), 53 – 69.
15. **De, I. a S., & De, I. a S.** (2004). Diel and seasonal patterns of tropical forest CO<sub>2</sub> exchange. *America*, 14(4), 42 – 54.
16. **Del Grosso, S., Parton, W., Stohlgren, T., Zheng, D., Bachelet, D., Prince, S., ... Olson, R.** (2008). Global potential net primary production predicted from vegetation class, precipitation, and temperature. *Ecology*, 89(8), 2117 – 2126.
17. **Dixon, R. K., Solomon, A. M., Brown, S., Houghton, R. A., Trexler, M. C., & Wisniewski, J.** (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, 263(5144), 185 – 190.

18. **Don, A., Schumacher, J., & Freibauer, A.** (2011). Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis. *Global Change Biology*, 17(4), 1658 – 1670.
19. **Encarnación, F.** (1993). El bosque y las formaciones vegetales en la llanura amazónica del Perú. *Alma Mater*, 6, 95 – 114.
20. **Epron, D., Nouvellon, Y., Rouspard, O., Mouvondy, W., Mabilia, A., Saint-André, L., ... Hamel, O.** (2004). Spatial and temporal variations of soil respiration in a Eucalyptus plantation in Congo. *Forest Ecology and Management*, 202(1 – 3), 149 – 160.
21. **Field, C. B., Ball, J. T., & Berry, J. A.** (2000). Photosynthesis: principles and field techniques. In *Plant Physiological Ecology* (Vol. 44, pp. 209 – 253). Dordrecht: Springer Netherlands.
22. **Gardener, Mark.** (2012). *Begining R: The Statistical Programming Language*. Wrox Press Ltd. Birmingham.
23. **Gash, J., Keller, M., Bustamante, M., & Dias, P. S.** (2009). *Amazonia and Global Change*. (M. Keller, M. Bustamante, J. Gash, & P. Silva Dias, Eds.) *Amazonia and Global Change* (Vol. 186). Washington, D. C.: American Geophysical Union.
24. **Grogan, P., & Chapin, F. S.** (1999). Arctic Soil Respiration: Effects of Climate and Vegetation Depend on Season. *Ecosystems*, 2(5), 451 – 459.

25. **Gong, J., Wang, Y., Liu, M., Huang, Y., Yan, X., Zhang, Z., & Zhang, W.** (2014). Effects of land use on soil respiration in the temperate steppe of Inner Mongolia, China. *Soil and Tillage Research*, 144, 20 – 31.
26. **Hashimoto, S., Carvalhais, N., Ito, A., Migliavacca, M., Nishina, K., & Reichstein, M.** (2015). Global spatiotemporal distribution of soil respiration modeled using a global database. *Biogeosciences*, 12, 4121 – 4132.
27. **Hashimoto, S., Tanaka, N., Suzuki, M., Inoue, A., Takizawa, H., Kosaka, I., ... Tangtham, N.** (2004). Soil respiration and soil CO<sub>2</sub> concentration in a tropical forest, Thailand. *Journal of Forest Research*, 9(1), 75 – 79.
28. **Honorio, E. N., & Baker, T.** (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - Universidad de Leeds.
29. **Horton, Nicholas y Kleinman, Ken.** (2015). *Using R Studio for Data Management, Statistical Analysis and Graphics*. Segunda edición. Taylor & Francis Group, LLC. New York.
30. **Hui, D., Luo, Y., & Katul, G.** (2003). Partitioning interannual variability in net ecosystem exchange between climatic variability and functional change. *Tree Physiology*, 23(7), 433 – 442.

31. **Iqbal, J., Lin, S., Hu, R., & Feng, M.** (2009). Temporal variability of soil-atmospheric CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes from different land uses in mid-subtropical China. *Atmospheric Environment*, 43(37), 5865 – 5875.
32. **Jassal, R., Black, A., Novak, M., Morgenstern, K., Nestic, Z., & Gaumont-Guay, D.** (2005). Relationship between soil CO<sub>2</sub> concentrations and forest-floor CO<sub>2</sub> effluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130(3 – 4), 176 – 192.
33. **Jensen, L. S., Mueller, T., Tate, K. R., Ross, D. J., Magid, J., & Nielsen, N. E.** (1996). Soil surface CO<sub>2</sub> flux as an index of soil respiration *in situ*: A comparison of two chamber methods. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(10 – 11), 1297 – 1306.
34. **Kiese, R., & Butterbach-Bahl, K.** (2002). N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions from three different tropical forest sites in the wet tropics of Queensland, Australia. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(7), 975 – 987.
35. **Kim, D.-G., & Kirschbaum, M. U. F.** (2015). The effect of land-use change on the net exchange rates of greenhouse gases: a meta-analytical approach. *Biogeosciences Discussions*, 208, 114 – 126.

36. **King, J. S., Hanson, P. J., Bernhardt, E., Deangelis, P., Norby, R. J., & Pregitzer, K. S.** (2004). A multiyear synthesis of soil respiration responses to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> from four forest FACE experiments. *Global Change Biology*, 10, 1027 – 1042.
37. **Kolari, P., Pumpanen, J., Rannik, Ü., Ilvesniemi, H., Hari, P., & Berninger, F.** (2004). Carbon balance of different aged Scots pine forests in Southern Finland. *Global Change Biology*, 10(7), 1106 – 1119.
38. **Korner, C.** (2000). Biosphere responses to CO<sub>2</sub> enrichment. *Ecological Applications*, 10(6), 1590 – 1619.
39. **Kosugi, Y., Mitani, T., Itoh, M., Noguchi, S., Tani, M., Matsuo, N., ... Rahim Nik, A.** (2007). Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 147(1 – 2), 35 – 47.
40. **Kosugi, Y., Takanashi, S., Ohkubo, S., Matsuo, N., Tani, M., Mitani, T., ... Nik, A. R.** (2008). CO<sub>2</sub> exchange of a tropical rainforest at Pasoh in Peninsular Malaysia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(3), 439 – 452.
41. **Lal, R.** (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304(5677), 1623 – 1627.

42. **Lloyd, J., & Taylor, J. A.** (1994). On the Temperature Dependence of Soil Respiration. *Functional Ecology*, 8(3), 315.
43. **Luo, Y., & Zhou, X.** (2006). *Soil Respiration and the Environment*. *Soil Respiration and the Environment* (1st ed.). Elsevier.
44. **Malhi, Y., & Phillips, O. L.** (2004). Tropical forests and global atmospheric change: a synthesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 359(1443), 549 – 555.
45. **Marthews, T. R., Metcalfe, D. B., Malhi, Y., Phillips, O. L., Huaraca Huasco, W., Riutta, T., ... GEM.** (2012). Measuring Tropical Forest Carbon Allocation and Cycling: RAINFOR-GEM Field Manual for Intensive Census Plots.
46. **Murty, D., Kirschbaum, M. U. F., McMurtrie, R. E., & McGilvray, H.** (2002). Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? a review of the literature. *Global Change Biology*, 8(2), 105 – 123.
47. **Nebel, G., Dragsted, J., & Salazar, A.** (2001). Litter fall , biomass and net primary production in flood plain forests in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 150(1 – 2), 93 – 102.

48. **Nebel, G., Peter, L., Vanclay, J. K., Christensen, H., Freitas, L., & Ruíz, J. (2001).** Structure and floristic composition of flood plain forests in the Peruvian Amazon I. Overstorey. *Forest Ecology and Management*, 150, 27 – 57.
49. **Nobre, C. A., Sellers, P. J., & Shukla, J. (1991).** Amazonian Deforestation and Regional Climate Change. *Journal of Climate*, 4(10), 957 – 988.
50. **Pace, Larry. (2012).** *Beginning R*. Apress. Berkeley.
51. **Quick, Jhon. (2010).** *Statistical Analysis with R*. Packt Publishing Ltd. Birmingham.
52. **Raich, J. W., & Schlesinger, W. H. (1992).** The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B*, 44(2), 81 – 99.
53. **Rayment, M. B. (2000)** Investigating the role of soils in terrestrial carbon balance: Harmonizing methods for measuring soil CO<sub>2</sub> efflux. LESC exploratory workshop, Edinburgh, 6–8 April, 2000, European Science Foundation.
54. **Richey, J. E., Devol, A. H., Wofsy, S. C., Victoria, R., & Riberio, M. N. G. (1988).** Biogenic gases and the oxidation and reduction of carbon in Amazon River and floodplain waters. *Limnology and Oceanography*, 33(4), 551 – 561.

55. **Rochette, P., Desjardins, R. L., & Pattey, E.** (1991). Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. *Canadian Journal of Soil Science*, 71(2), 189 – 196.
56. **Saatchi, S. S., Harris, N. L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E. T. A., Salas, W., ... Morel, A.** (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(24), 9899 – 9904.
57. **Sabine, C. S., Hemann, M., Artaxo, P., Bakker, D., Chen, C. T. A., Field, C. B., Gruber, N., LeQuere, C., Prinn, R. G., Richey, J. E., Romero-Lankao, P., Sathaye, J., and Valentini, R.** (2003). Current status and past trends of the carbon cycle. In *Toward CO<sub>2</sub> stabilization: Issues, strategies, and consequences* (C. B. Field, and M. R. Raupac, eds.), Island Press, Washington, DC.
58. **Salimon, C. I., Davidson, E. a., Victoria, R. L., & Melo, a. W. F.** (2004). CO<sub>2</sub> flux from soil in pastures and forests in southwestern Amazonia. *Global Change Biology*, 10(5), 833 – 843.
59. **Schimel, D. S., House, J. I., Hibbard, K. A., Bousquet, P., Ciais, P., Peylin, P., ... Wirth, C.** (2001). Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*, 414(6860), 169 – 172.

60. **Sheng, H., Yang, Y., Yang, Z., Chen, G., Xie, J., Guo, J., & Zou, S.** (2010). The dynamic response of soil respiration to land-use changes in subtropical China. *Global Change Biology*, 16(3), 1107 – 1121.
61. **Sjogersten, S., Black, C. R., Evers, S., Hoyos-Santillan, J., Wright, E. L., & Turner, B. L.** (2014). Tropical wetlands: A missing link in the global carbon cycle? *Global Biogeochemical Cycles*, 28(12), 1371 – 1386.
62. **Sotta, E. D., Meir, P., Malhi, Y., Nobre, A. D., Hodnett, M., & Grace, J.** (2004). Soil CO<sub>2</sub> efflux in a tropical forest in the Central Amazon. *Global Change Biology*, 10(5), 601 – 617.
63. **Sotta, E. D., Veldkamp, E., Guimarães, B. R., Paixão, R. K., Ruivo, M. L. P., & Almeida, S. S.** (2006). Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in an Eastern Amazonian Rainforest, Caxiuanã, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 237(1 – 3), 57 – 64.
64. **Sotta, E. D., Veldkamp, E., Schwendenmann, L., Guimarães, B. R., Paixão, R. K., Ruivo, M. D. L. P., ... Meir, P.** (2007). Effects of an induced drought on soil carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) efflux and soil CO<sub>2</sub> production in an Eastern Amazonian rainforest, Brazil. *Global Change Biology*, 13(10), 2218 – 2229.

65. **Stolzy, L.** (1974). Soil atmosphere. In the plant root and its environment (E. W. Carson, ed.), University Press of Virginia, Charlottesville, pp. 335 – 362.
66. **Tang, J., Baldocchi, D. D., & Xu, L.** (2005). Tree photosynthesis modulates soil respiration on a diurnal time scale. *Global Change Biology*, 11(8), 1298 – 1304.
67. **Tang, X. L., Zhou, G. Y., Liu, S. G., Zhang, D. Q., Liu, S. Z., Li, J., & Zhou, C. Y.** (2006). Dependence of soil respiration on soil temperature and soil moisture in successional forests in southern China. *Journal of Integrative Plant Biology*, 48(6), 654 – 663.
68. **Trumbore, E., Davidson, A., Camargo, D., Nepstad, C., & Martinelli, L.** (1995). Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 9(4), 515 – 528.
69. **Teetor, Paul.** (2011). *R Cookbook*. O'Reilly Media, Inc. Sebastopol.
70. **Turner, M. G.** (1989). Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20(1), 171 – 197.

71. **Valentini, C. M. A., Sanches, L., De Paula, S. R., Vourlitis, G. L., De Nogueira, J. S., Pinto, O. B., & De Lobo, F. A.** (2009). Soil respiration and aboveground litter dynamics of a tropical transitional forest in northwest mato grosso, brazil. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 114(1), 1 – 11.
72. **Zanchi, F. B., Meesters, A. G. C. a., Waterloo, M. J., Kruijt, B., Kesselmeier, J., Luizão, F. J., & Dolman, A. J.** (2014). Soil CO<sub>2</sub> exchange in seven pristine Amazonian rain forest sites in relation to soil temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 192 – 193, 96 – 107.
73. **Zanchi, F. B., Waterloo, M. J., Kruijt, B., Kesselmeier, J., Luizão, F. J., Manzi, A. O., & Dolman, A. J.** (2012). Soil CO<sub>2</sub> efflux in central Amazonia: environmental and methodological effects. *Acta Amazonica*, 42(2), 173 – 184.
74. **Zhao, M., & Running, S. W.** (2010). Drought-Induced Reduction in Global Terrestrial Net Primary Production from 2000 Through 2009. *Science*, 329(5994), 940 – 943.

## VIII ANEXOS

**Anexo 1.** Datos descriptivos de las parcelas de estudio.

Statistic	BTA	RBI	CHA	PAC	PDE	PHU	PTO	PUR	AGU	RBII	VAR
n	150	125	150	150	150	150	150	150	150	150	150
mean	46,167	47,031	52,225	71,808	51,392	43,521	50,852	57,983	66,105	39,270	50,594
sd	25,679	37,626	29,367	39,370	21,341	22,123	24,584	23,035	75,542	23,933	23,207
median	40,380	39,490	45,995	62,365	49,420	40,095	47,625	56,460	43,770	35,820	50,220
trimmed	42,836	41,931	48,009	68,191	50,282	41,882	48,491	56,970	50,208	36,232	49,219
mad	19,689	31,757	19,808	33,603	18,021	22,291	21,142	22,113	33,277	17,710	19,363
min	8,220	2,540	12,060	5,510	5,030	5,00	9,690	7,690	9,620	6,470	6,910
max	199,500	287,470	223,840	181,040	148,510	145,980	125,160	121,610	624,730	147,790	206,520
range	191,280	284,930	211,780	175,530	143,480	140,880	115,470	113,920	615,110	141,320	199,610
skew	2,123	2,821	2,177	0,841	0,857	1,127	0,811	0,395	3,852	1,542	2,125
kurtosis	8,142	13,194	7,786	0,245	2,141	2,819	0,194	-0,098	20,675	3,382	12,180
se	2,097	3,365	2,398	3,215	1,743	1,806	2,007	1,881	6,168	1,954	1,895

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 2.** Pruebas de normalidad para parcelas inundadas (PI) y no inundadas (PNI).

### **Parcelas inundadas**

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: PI[, 5]

D = 0,17977, p - value < 2,2e<sup>-16</sup>

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

### **Parcelas no inundadas**

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: PNI[, 5]

D = 0,10654, p - value < 2,2e<sup>-16</sup>

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 3.** Prueba no paramétrica suma de rangos de Wilcoxon para las parcelas con diferentes períodos de inundación.

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: R by DPI

W = 233 550, p - value = 4,22e<sup>-14</sup>

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 4.** Datos descriptivos de parcelas inundados (PI) y no inundados (PNI).

Statistic	PI	PNI
n	575	1050
mean	49,067	54,432
sd	46,613	28,274
median	39,060	49,990
trimmed	41,801	51,280
min	2,540	5,030
mad	24,493	22,536
max	624,730	223,840
range	622,190	218,810
skew	5,359	1,555
kurtosis	48,001	4,317
se	1,944	0,873

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 5.** Prueba de normalidad en ecosistemas con diferentes niveles de perturbación antrópica.

**Bosque primario**

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: BP[, 5]

D = 0,16809, p - value < 2,2e<sup>-16</sup>

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

### **Bosque degradado**

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: BD[, 5]

D = 0,13661, p - value = 8,69e<sup>-15</sup>

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

### **Bosque en recuperación**

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: BR[, 5]

D = 0,059342, p - value = 3,155e<sup>-05</sup>

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 6.** Prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para las parcelas de niveles de perturbación antrópica (NPA).

Kruskal-Wallis rank sum test

data: R by NPAF

Kruskal-Wallis chi-squared = 50,343, df = 2, p - value = 1,17e<sup>-11</sup>

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 7.** Prueba post-hoc Dunn.

Dunn's test of multiple comparisons using rank sums: none

	mean.rank.diff	pval
BR – BR	-1,074,475	0,0012 **
BP – BD	-2,194,693	9,6e <sup>-12</sup> ***
BP – BR	-112,218	1,5e <sup>-05</sup> ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 8.** Datos descriptivos de bosque primario (BP), bosque degradado (BD) y bosque en recuperación (BR).

Statistic	BP	BD	BR
N	725	300	600
mean	49,930	62,016	50,937
Sd	43,169	36,033	23,315
median	41,850	54,235	48,080
trimmed	43,726	57,254	49,351
mad	23,277	28,332	21,231
min	2,540	5,510	5,030
max	624,730	223,840	148,510
range	622,190	218,330	143,480
skew	5,433	1,352	0,752
kurtosis	52,015	2,062	0,852
Se	1,603	2,080	0,952

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 9.** Pruebas de normalidad para la variación temporal.

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

Plot	Muestreo	Statistic	P.value
Bosque de terraza alta	AGO	0,136	0,268
Bosque de terraza alta	DIC	0,227	0,002
Bosque de terraza alta	ENE	0,241	0,001
Bosque de terraza alta	NOV	0,088	0,888
Bosque de terraza alta	OCT	0,184	0,029
Bosque de terraza alta	SEP	0,136	0,276
Restinga baja I	AGO	0,264	0,0001
Restinga baja I	ENE	0,183	0,031
Restinga baja I	NOV	0,114	0,550
Restinga baja I	OCT	0,141	0,228
Restinga baja I	SEP	0,221	0,003
Chacra	AGO	0,140	0,234
Chacra	DIC	0,071	0,987
Chacra	ENE	0,204	0,009
Chacra	NOV	0,116	0,527
Chacra	OCT	0,135	0,280
Chacra	SEP	0,247	0,0004
Pasto activo	AGO	0,192	0,018
Pasto activo	DIC	0,138	0,256
Pasto activo	ENE	0,169	0,064
Pasto activo	NOV	0,140	0,231
Pasto activo	OCT	0,139	0,245
Pasto activo	SEP	0,177	0,043
Pasto degradado	AGO	0,122	0,437
Pasto degradado	DIC	0,127	0,372
Pasto degradado	ENE	0,097	0,792
Pasto degradado	NOV	0,129	0,345
Pasto degradado	OCT	0,179	0,037
Pasto degradado	SEP	0,203	0,009
Plantación de Huacapú	AGO	0,106	0,661
Plantación de Huacapú	DIC	0,177	0,041
Plantación de Huacapú	ENE	0,253	0,0002

Plantación de Huacapú	NOV	0,176	0,045
Plantación de Huacapú	OCT	0,160	0,099
Plantación de Huacapú	SEP	0,138	0,249
Plantación de tornillo	AGO	0,136	0,274
Plantación de tornillo	DIC	0,195	0,015
Plantación de tornillo	ENE	0,154	0,133
Plantación de tornillo	NOV	0,160	0,098
Plantación de tornillo	OCT	0,146	0,182
Plantación de tornillo	SEP	0,145	0,194
Purma	AGO	0,109	0,625
Purma	DIC	0,103	0,704
Purma	ENE	0,115	0,531
Purma	NOV	0,130	0,333
Purma	OCT	0,093	0,829
Purma	SEP	0,132	0,319
Aguajal	AGO	0,248	0,0004
Aguajal	DIC	0,380	0
Aguajal	ENE	0,285	0,00001
Aguajal	NOV	0,300	0,00000
Aguajal	OCT	0,180	0,035
Aguajal	SEP	0,174	0,048
Restinga baja II	AGO	0,153	0,139
Restinga baja II	DIC	0,105	0,674
Restinga baja II	ENE	0,134	0,292
Restinga baja II	NOV	0,122	0,445
Restinga baja II	OCT	0,137	0,263
Restinga baja II	SEP	0,128	0,365
Varillal	AGO	0,210	0,006
Varillal	DIC	0,153	0,136
Varillal	ENE	0,190	0,021
Varillal	NOV	0,108	0,629
Varillal	OCT	0,099	0,755
Varillal	SEP	0,113	0,557

---

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 10.** Prueba de Friedman para la parcela Restinga baja I.

Friedman rank sum test

data: RBI

Friedman chi-squared = 80,68, df = 5, p - value =  $6,047e^{-16}$

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 11.** Prueba de Friedman para el bosque de terraza alta.

Friedman rank sum test

data: BTA

Friedman chi-squared = 27,789, df = 5, p - value =  $4,003e^{-05}$

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 12.** Prueba de Friedman para la parcela chacra.

Friedman rank sum test

data: CHA

Friedman chi-squared = 40,246, df = 5, p - value =  $1,332e^{-07}$

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 13.** Prueba de Friedman para la parcela de pasto activo.

Friedman rank sum test

data: PAC

Friedman chi-squared = 12,931, df = 5, p - value = 0,02403

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 14.** Prueba de Friedman para la parcela de pasto degradado.

Friedman rank sum test

data: PDE

Friedman chi-squared = 34,257, df = 5, p - value = 2,116e<sup>-06</sup>

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 15.** Prueba de Friedman para la plantación de huacapú.

Friedman rank sum test

data: PHU

Friedman chi-squared = 38,349, df = 5, p - value = 3,211e<sup>-07</sup>

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 16.** Prueba de Friedman para la plantación de tornillo.

Friedman rank sum test

data: PTO

Friedman chi-squared = 56,086, df = 5, p - value = 7,803e<sup>-11</sup>

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 17.** Prueba de anova de medidas repetidas para la parcela de purma.

\$ANOVA

Effect	DFn	DFd	SSn	SSd	F	p	p < ,05	Ges
Intercept	1	24	504305,79	37942,24	318,99	2,29e <sup>-15</sup>	*	0,89
Muestreo	5	120	18496,66	22623,16	19,62	3,01e <sup>-14</sup>	*	0,23

\$` Mauchly's Test for Sphericity`

Effect	W	p	p < ,05
2 Muestreo	0,3914933	0,11074	

\$` Sphericity Corrections`

Effect	GGe	p[GG]	p[GG] < ,05	HFe	p[HF]	p[HF] < ,05
Muestreo	0,75	2,85e <sup>-11</sup>	*	0,91	3,48e <sup>-13</sup>	*

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 18.** Prueba de Friedman para la parcela de aguajal.

Friedman rank sum test

data: AGU

Friedman chi-squared = 27,149, df = 5, p - value = 5,337e<sup>-05</sup>

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 19.** Prueba de anova de medidas repetidas para la parcela Restinga baja II.

\$ANOVA

Effect	DFn	DFd	SSn	SSd	F	p	p < ,05	ges
Intercept	1	24	231318,20	40264,88	137,87	1,95e-11	*	0,78
Muestreo	5	120	21176,56	23901,42	21,26	3,50e-15	*	0,24

\$` Mauchly's Test for Sphericity`

Effect	W	p	p < ,05
Muestreo	0,04706298	6.48e-03	*

\$` Sphericity Corrections`

Effect	GGe	p[GG]	p[GG] < ,05	HFe	p[HF]	p[HF] < ,05
Muestreo	0,42	1,07e-07	*	0,47	2,90e-08	*

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 20.** Prueba de Friedman para parcela de varillal.

Friedman rank sum test

data: VAR

Friedman chi-squared = 57,48, df = 5, p - value = 4,027e-11

Fuente: Elaboración propia con Rstudio.

**Anexo 21.** Fotografía del analizador de gases infrarrojo (EGM-4).



**Anexo 22.** Fotografía del tubo de pvc insertado en el suelo.



**Anexo 23.** Fotografía del higrómetro y termómetro digital.



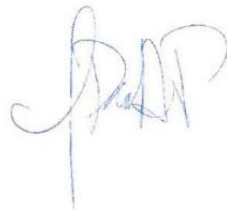
**Anexo 24.** Fotografía de la toma de datos de la respiración del suelo con el EGM-4.






Giovanni Aragón Alvarado

**ASESOR**



Blgo. Jhon Del Aguila Pasquel

**CO - ASESOR**



Bach. Gerardo Rafael Flores Llampazo

**TESISTA**