

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería ambiental



Una Institución Adventista

**“Evaluación de las emisiones de CO₂ En la respiración total del
suelo en la parcela ESC – 01 Área de Conservación
Regional Cordillera Escalera – San Martín”**

Autor:

Melody Gabriela Peñaherrera Mora

Asesor:

Ing. Ivone Vásquez Briones

Tarapoto, diciembre 2018

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Ivone Vasquez Briones, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“Evaluación de las emisiones de CO₂ en la respiración total del suelo en la parcela ESC – 01 Área de Conservación Regional Cordillera Escalera – San Martín”** constituye la memoria que presenta el **Bachiller Melody Gabriela Peñaherrera Mora** para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Ambiental ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Morales, a los 26 días del mes de noviembre del año 2018.




Ing. Ivone Vasquez Briones

“Evaluación de las emisiones de CO_2 en la respiración total del suelo en la parcela ESC – 01 Área de Conservación Regional Cordillera Escalera – San Martín”

TESIS


Presentada para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR



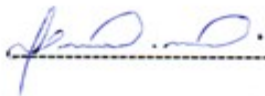
Ing. Manuel Toribio Yalico

Presidente




Ing. Carmelino Almestar Villegas

Secretario



Ing. Jhon Patrick Ríos Bartra

Vocal



Ing. Ivone Vazques Briones

Asesor

Morales, 26 de diciembre del 2018

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada en primer lugar a Dios porque en su infinita gracia predestinó mi vida y su fidelidad me sostiene y me ha salvado, a mi madre Gladis Mora Reategui por su amor incondicional, a mi padre Amador Peñaherrera Saldaña que siempre ha tratado de mostrarme su mejor versión, por motivarme a crecer en todos los aspectos de mi vida, por ser tan racional y al mismo tiempo incapaz de condenarme, pero sí de corregirme. A mi hermana Claudia Peñaherrera Mora por estar siempre conmigo, y a todas las personas que quieren crecer en ciencia y apoyan la investigación, puesto que considero que ésta nos acerca más a Dios.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por sobre todos porque de Él viene todo y todo lo hace bien, porque es fiel y misericordioso, por haberme regalado su salvación y porque sé que cumplirá su propósito en mí.

Gracias Mamá por estar conmigo siempre, por mostrarme a Cristo mi Salvador, gracias papá por ser una persona que busca siempre agradecer a Dios y a su familia, alguien que busca crecer y que busca dejarme en claro que siempre estarás para mí corrigiéndome, animándome y mimándome. Gracias Claudia por ser mi buena y amada hermana.

Agradezco de manera particular a mis asesoras, Ing. Ivone Vasquez por ser una profesional íntegra y digna de imitar, gracias por tu amistad invaluable y tu guía correcta, a la Dra, Euridice Honorio por su apoyo y paciencia, al Blgo. Jhon Del Águila, al Ing. Pedro Gonzales, a mi amigo Absalón Zamora, por su tiempo, dedicación y compromiso para la elaboración de esta investigación, a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión por contribuir en mi formación profesional y al IIAP por su contribución en la investigación en la región.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
INDICE DE TABLAS.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE ANEXO.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
SÍMBOLOS.....	XIII
CAPITULO I.....	14
INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Identificación del Problema.....	14
1.2 Objetivos de la Investigación.....	15
1.2.1 General:.....	15
1.2.2 Específicos:.....	15
1.3 Justificación de la Investigación.....	16
1.4 Presuposición Filosófica.....	17
CAPITULO II.....	18
Revisión de la literatura.....	18
2.1 Ciclo de carbono.....	18
2.2 Cambio climático.....	19
2.3 Respiración del suelo.....	20
2.3.1 Respiración heterótrofa.....	22
2.3.2 Respiración autótrofa.....	22
2.3.3 Humedad del suelo.....	23
2.3.4 Precipitación.....	24
2.4 Los bosques y flujos de carbono.....	24
2.5 Variación temporal y espacial de la respiración del suelo.....	25
2.5.1 Variación temporal:.....	25
2.5.2 Variación estacional.....	26
2.5.3 Variación espacial.....	26
2.6 Métodos de estimación de flujos de carbono.....	27
2.7 Método de cámara dinámica cerrada (CDC).....	27

2.7.1	Método de cámara dinámica abierta (ODC).....	28
2.7.2	Métodos de cámara estática cerrada (CSC).....	29
2.8	Antecedentes	29
CAPÍTULO III.....		41
MATERIALES Y MÉTODOS.....		41
3.1	Área de estudio.....	41
3.1.1	Ubicación geográfica.....	43
3.1.2	Accesibilidad.....	43
3.1.3	Clima.....	43
3.1.4	Fisiografía.....	43
3.1.5	Vegetación	43
3.1.6	Suelos	44
3.2	Zona de muestreo	44
3.2.1	Parcela permanente de muestreo (PPM)	44
3.3	Diseño y Enfoque de la investigación	46
3.4	Hipótesis de la Investigación	46
3.5	Descripción de Variables	46
3.6	Población y muestra	46
3.7	Método de evaluación de Respiración total.....	46
3.7.1	Etapas de la Investigación.....	48
3.8	Materiales y Software	50
3.8.1	Materiales.....	50
3.8.2	Software	50
CAPÍTULO IV.....		51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		51
4.1	RESULTADOS	51
4.2	DISCUSIÓN:	62
CAPITULO V		64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		64
5.1	Conclusiones.....	64
5.2	Recomendaciones	64
REFERENCIAS.....		65
ANEXOS.....		73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas UTM de las esquinas de la PPM.....	46
Tabla 2. Operacionalización de variables	49
Tabla 3. Tabla Resumen de las variables evaluadas en cada mes.....	58
Tabla 4: Tabla de identificación del eje X y Y	59
Tabla 5. P valor y Correlación de las variables evaluadas.....	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de la parcela permanente de muestreo (PPM).....	42
Figura 2: Tubos de medición de respiración total en la PPM.....	45
Figura 3: Promedio de R corregida t de CO_2 /Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Abril.....	51
Figura 4: Promedio de R corregida t de CO_2 /Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Mayo	52
Figura 5: Promedio de R corregida t de CO_2 /Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Junio	52
Figura 6: Promedio de R corregida t de CO_2 /Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Julio.....	53
Figura 7: Promedio de R corregida t de CO_2 /Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Agosto.....	54
Figura 8: Promedio de R corregida t de CO_2 /Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Setiembre	54
Figura 9: Promedio de R corregida (t de CO_2 /Ha/Año) de Abril a Setiembre	55
Figura 10: T °C ambiental (Abril a Setiembre).....	56
Figura 11: Comparativo de barras de CO_2 VS T °C de Abril a Setiembre	56
Figura 12: T °C dentro de la cámara (Abril a Setiembre).....	57
Figura 13: T °C fuera de la cámara (Abril a Setiembre).....	58
Figura 14: Gráfico de relación con ecuación lineal.....	60
Figura 15: Gráfico de relación con ecuación polinomial.....	61

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. CONSTANCIA IIAP	73
Anexo 2. PANEL FOTOGRÁFICO	74
Anexo 3. COMPENDIO DE VARIABLES MONITOREADAS EN UN MES	80

RESUMEN

Esta investigación se realizó con la finalidad de evaluar las emisiones de dióxido de carbono en la respiración total del suelo en la parcela ESC-01 dentro del Área de Conservación Regional Cordillera Escalera y cómo se relaciona con la temperatura ambiental del bosque. La muestra fueron las 25 porciones de suelo instalados dentro de la Parcela Permanente de Monitoreo de 1 hectárea que forma parte de la red parcelas permanentes monitoreadas por la Red Amazónica de inventarios forestales (RAINFOR) en el Perú. La toma de datos de las emisiones de CO_2 por respiración total del suelo se realizó mensualmente con la ayuda de EGM-4, un termómetro y laptop. Luego de tener los datos de flujos de emisiones, se tuvo convertir las unidades de flujos de CO_2 de $g\ CO_2\ m^{-2}\ h^{-1}$ a $t/ Ha/Año$ y escoger aquellas mediciones que tienen un incremento lineal en los valores promedio durante el periodo de evaluación por cada medición, para obtener valores promedios da cada cámara de respiración y finalmente realizar un promedio final por toda la parcela de todos los valores promedios de las 25 cámaras.

El promedio de las emisiones de CO_2 de los seis meses monitoreados en la PPM dentro del ACR CE categorizado como bosque húmedo premontano fue 13.60262649 t/ha/Año. El P valor (Nivel de significancia) resultó 0.001, que confirma lo que se propone en la hipótesis, sobre la relación entre las emisiones de CO_2 y la temperatura. La Correlación de Pearson tiene un valor de 0.971 es decir la correlación es significativa. La correlación de la respiración del suelo con la temperatura ambiental es positiva en casi todos los casos al igual que en este monitoreo en la parcela ESC - 01 que los resultados de las mediciones que se correlacionan con las temperaturas ambientales registradas de forma directa positiva. Los resultados demuestran una predominancia de correlación de la respiración del suelo con la temperatura ambiental.

Palabras Clave: Respiración del suelo, emisiones de CO_2 , parcela ESC – 01, ACR CE.

ABSTRACT

This research was carried out with the purpose of evaluating the carbon dioxide emissions in the total respiration of the soil in the ESC-01 plot within the Cordillera Escalera Regional Conservation Area and how it relates to the forest temperature. The sample consisted of the 25 lots of land installed within the Permanent 1-hectare Monitoring Plot that is part of the network of permanent plots monitored by the Amazon Forest Inventory Network (RAINFOR) in Peru. The data collection of CO_2 emissions by total soil respiration was made monthly with the help of EGM-4, a thermometer and laptop. In each breathing chamber, the monitoring was performed, 2 shots per collar, after which the ambient temperature, temperature of the ground outside the breathing chamber and finally temperature of the soil inside the monitoring chamber were taken.

The average of the emissions of CO_2 of the six months monitored in the PPM within the CE ACR categorized as premontane moist forest was 13.602 t / ha / year. Presenting the highest value in the month of May 2018, the carbon dioxide emissions CO_2 amount to 19.483 t / Ha / Year; and the environmental temperature amounted to 22.23 degrees Celsius, and the lowest value in the month of August 2018, the emissions of CO_2 amounting to a value of 7.089 t / Ha / Year; and the ambient temperature amounted to 20.48 degrees Celsius on average. The P value (Level of significance) was 0.001, which confirms what is proposed in the hypothesis, on the relationship between the emissions of CO_2 and the temperature. The Pearson correlation has a value of 0.971, that is, the correlation is significant. The correlation of soil respiration with ambient temperature is positive in almost all cases as in this monitoring in the ESC - 01 plot that the results of the measurements correlate with the positively recorded environmental temperatures. The results show a predominance of correlation of soil respiration with environmental temperature.

Keywords: Soil respiration, emissions of CO_2 , plot ESC - 01, ACR CE.

SÍMBOLOS

CO₂ : Dióxido de carbono

C: Carbono

ACR: Área de Conservación Regional

CE: Cordillera Escalera

EGM: Analizador de gases infrarojo

Pg: Peta gramos

Ha: Hectárea

Ra: Respiración autótrofica

Rh: Respiración heterotrófica

PPN: Producción primaria neta

PPB: Producción primaria bruta

Mg: Mega gramos

MOS: Materia orgánica del suelo

PPM: Parcela permanente de monitoreo

GORESAM: Gobierno regional de San Martín

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Identificación del Problema

Uno de los mayores problemas mundiales, que tiene el interés de la comunidad de intelectuales, gobernantes, empresarios y socialistas es el llamado Calentamiento Global. Este calentamiento se da debido al incremento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, uno de los gases más importantes es el dióxido de carbono (CO_2). Este gas se produce de manera natural en los diferentes procesos del ciclo del carbono en nuestro planeta, pero su gran aumento se debe principalmente por las actividades antropogénicas que se relacionan con la quema de combustibles fósiles y la deforestación.

El incremento de diferentes gases de efecto invernadero en la atmósfera hace que el clima presente también cambios y anomalías, alterando la estabilidad de la atmósfera y el océano.

Los grandes impactos negativos en el planeta que ha acarreado este problema han hecho que los países se comprometan a reducir las emisiones de gases a nivel mundial, y la comunidad científica ha procedido a realizar más investigación en los mecanismos que ayuden a regular los ciclos de dichos gases en el planeta.

“ La respiración del suelo tiene un rol importante en el ciclo del carbono, especialmente si hablamos de los bosques amazónicos, ya que ayudan regulando la concentración de carbono en la atmósfera entonces también la tasa de cambio climático”. (Honorio & Baker, 2010). Es por esta razón que una de las medidas gubernamentales para regular los niveles de emisiones de gases de diferentes países, incluido el nuestro, es protegiendo áreas naturales que albergan además diversidad de ecosistemas.

“El CO_2 del suelo se libera a la atmósfera través de la respiración del suelo, la perturbación del mismo, ya sea natural o antrópica genera cambios en diferentes factores simultáneamente, ya que es un proceso muy sensible. Por lo tanto, la respiración del suelo se ve afectada con los cambios de condiciones ambientales como temperatura, humedad, etc”. (Flores, 2016)

Diversos estudios muestran que el incremento de dióxido de carbono en las emisiones del suelo de los bosques, en respuesta a fuertes cambios ambientales, tiene el potencial para incrementar considerablemente los niveles del mismo en la atmósfera.

En el departamento de San Martín en el Área de conservación regional Cordillera Escalera, se encuentra una parcela de monitoreo permanente de 1Ha de área (ESC-01), en la que se estudian diferentes factores sobre la mecánica del ciclo de carbono en los bosques, pero aún no se tienen investigaciones con resultados publicados que muestren cuánto de CO_2 libera esta parte de la región, si realmente está regulando las concentraciones de carbono atmosférico y su papel en el cambio climático.

Así que formulado el problema queda: ¿En qué proporción emite CO_2 el suelo de la parcela ESC-01 del ACR Cordillera Escalera y cómo se relaciona con los cambios de temperatura ambiental?

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 General:

Evaluar las emisiones de CO_2 en la respiración total del suelo en la parcela ESC-01 dentro del ACR Cordillera Escalera y cómo se relaciona con la temperatura ambiental del bosque.

1.2.2 Específicos:

- Medir las emisiones de CO_2 en la respiración del suelo de la parcela durante seis meses dentro del ACR Cordillera Escalera.
- Evaluar las temperaturas del suelo y ambiental.

- Determinar la relación entre las emisiones de CO_2 y de la temperatura del ambiente durante las mediciones de respiración del suelo.

1.3 Justificación de la Investigación

La respiración del suelo es el proceso en el que el suelo libera dióxido de carbono a la atmósfera, es un proceso muy sensible a los cambios medioambientales. El suelo mantiene el carbono hasta que las condiciones ambientales son cambiadas y se altera su estructura.

“Este proceso que realiza en el suelo es crucial ya que juega un rol importante en el ciclo de carbono, y dado que este gas forma parte de los gases de efecto invernadero, tiene mucha relación con el calentamiento global.” (Flores, 2016)

Algunos autores consideran a la respiración del suelo con el evento central de los cambios ecológicos globales gracias a su papel en los procesos de calentamiento global.

“Las mediciones de la respiración del suelo son más útiles para documentar la actividad metabólica total en el suelo para definir las tasas de los flujos de carbono a través de los suelos y para investigar las interacciones suelo-atmósfera” (James W Raich, 1998), es decir seguir evaluando este proceso que realiza el suelo ayuda a tener mayores datos que permitan entender mejor la respiración del suelo.

Existen diversas investigaciones sobre el comportamiento y dinámica de la respiración del suelo en diversos bosques, incluidos los bosques de nuestro país, con diversos resultados por las diferentes metodologías y espacios donde desarrollan.

Estas investigaciones, en gran parte se desarrollan en bosques no perturbados ya que son los reguladores del ciclo de carbono y además son el refugio de diversas especies de flora y fauna.

En nuestra región no se cuenta con mucha información sobre este tema, así que es necesario contar con más investigaciones que se enfoquen en la dinámica del suelo y los bosques, evaluando y comparando, que ayuden a descifrar su comportamiento y variaciones con los cambios de temporada y factores ambientales, ya que tienen un importante rol en el cambio climático.

1.4 Presuposición Filosófica

La Biblia, en Colosenses 1:16-17, nos dice que todo lo que fue creado y lo que el mundo contiene es por y para Dios. Dentro de su creación nos encontramos los humanos, que tuvimos el propósito de vivir una vida de obediencia con Dios y de ayudar a cuidar y administrar bien la creación de Dios, pero nos hemos desviado de ese propósito y además de rechazar a nuestro creador, hemos hecho una pésima administración de los recursos de la creación y la hemos dañado, perjudicando a los demás ecosistemas, extinguiendo especies, alterando los fenómenos atmosféricos y acarreando el cambio climático.

Pero hay un porcentaje de personas, que el Señor ha sensibilizado y se han podido tomar diferentes medidas de protección, remediación, investigación, etc. Para nuestro planeta.

Dentro de esas medidas de protección, se encuentran lo que en nuestro país se conocen como Áreas Naturales protegidas, que son espacios territoriales protegidos por el estado, debido a su diversidad biológica y endémica. Estas áreas son intangibles, pero pueden ser objeto de investigación con el fin de entender mejor la dinámica de éstos, siendo los bosques tropicales uno de los más estudiados debido a su gran papel como reguladores de las emisiones de dióxido de carbono y sumidero del mismo, uno de los gases más representativos del efecto invernadero. "Se conoce que los ecosistemas forestales pueden secuestrar más carbono a medida que las concentraciones de CO_2 siguen aumentando en la atmósfera" (Hanson, PJ; Edwards, NT; Garden, CT; Andrews, 2000). De aquí la importancia por preservar y seguir estudiando estas áreas y sus ecosistemas.

CAPITULO II

Revisión de la literatura

2.1 Ciclo de carbono

“El ciclo de carbono se basa en la transferencia y almacenamiento del elemento carbono entre la atmósfera, biósfera, litósfera y océanos”. (Honorio & Baker, 2010).

Como sucede con todos los elementos, la disponibilidad de carbono no es infinita en el planeta y, por tanto, el carbono circula entre la materia orgánica y el ambiente físico-químico de manera constante. El movimiento del carbono ocurre a diferentes escalas espacio-temporales, que van desde el nivel molecular, pasando por el orgánico hasta el global. El carbono, en su unión molecular con el oxígeno, constituye el dióxido de carbono (CO_2), gas resultante de procesos tanto geoquímicos como biológicos, y cuya presencia en la atmósfera es fundamental en la regulación de la temperatura del planeta debido a sus propiedades como gas de invernadero.

Las plantas superiores adquieren el dióxido de carbono (CO_2) atmosférico por difusión a través de pequeñísimos poros de las hojas conocidos como estomas, y es transportado a los sitios donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Cierta cantidad de este CO_2 regresa a la atmósfera, pero la cantidad que se fija y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis se conoce como producción primaria bruta (PPB). Ésta se ha estimado globalmente en 120 PgC/año (1 Pg [Petagramo] = 10¹⁵g). La mitad de la PPB (60 PgC/año) se incorpora en los tejidos vegetales, como hojas, raíces y tejido leñoso, y la otra mitad regresa a la atmósfera como CO_2 debido a la respiración autotrófica (respiración de los tejidos vegetales, R_a).

El crecimiento anual de las plantas es el resultado de la diferencia entre el carbono fijado y el respirado. Se le conoce como producción primaria neta (PPN) (A Bahar et al.,

2016; Girardin et al., 2013) y en el nivel global se ha estimado en 60 PgC/año. Eventualmente, en el transcurso de pocos a muchos años, casi todo el C fijado por vía de la PPN regresa a la atmósfera por medio de dos procesos: la respiración heterótrofa (Rh) que incluye a los descomponedores de la materia orgánica (bacterias y hongos que se alimentan de tejidos muertos y de exudados) y a los herbívoros; y por la combustión en los fuegos naturales o antropogénicos.

Gran parte de la biomasa muerta se incorpora al detritus y a la materia orgánica del suelo, donde es “respirada” a diferentes velocidades dependiendo de sus características químicas. (Janssens, Kowalski, & Ceulemans, 2001).

Se producen así almacenes de carbono en el suelo que lo regresan a la atmósfera en diferentes periodos. La diferencia entre la fijación de carbono por la PPN y las pérdidas por la Rh, en ausencia de otras perturbaciones que producen pérdidas de carbono (por ejemplo el fuego o la cosecha), se conoce como la producción neta del ecosistema (PNE).(J. Martínez & Fernández, 2004; Ryan & Law, 2005)

2.2 Cambio climático

El clima pende de diversos elementos que se relacionan entre sí. Cuando parámetros como precipitación o temperatura salen de su valor promedio de muchos años, se llama anomalía climática, y puede ser causada por factores internos como inestabilidad de la atmósfera o el océano, o también por factores externos, de éstos sobresalen los causados por las actividades humanas como los de gases de efecto invernadero o cambios de uso de suelo (J. Martínez & Fernández, 2004).

Los aumentos inducidos por los humanos en las concentraciones atmosféricas de una variedad de gases de efecto invernadero han estado en marcha durante el siglo pasado. El dióxido de carbono fue responsable de una estimación del 55% del forzamiento radiativo impulsado por la antropogénesis de la atmósfera en 1980 y se prevé que tendrá una importancia relativa aún mayor durante el próximo siglo.

Una comprensión clara de las fuentes y los sumideros de CO_2 atmosférico, y cómo se ven afectados por el clima y el uso de la tierra, es esencial en el análisis del ciclo global del carbono y cómo puede verse afectado por las actividades humanas.

“La resolución de los patrones espaciales y temporales de los flujos de CO_2 del suelo ofrecen oportunidades tanto para entender mejor el ciclo del carbono terrestre como para identificar e investigar el control sobre los intercambios de carbono entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera” (James W. Raich & Potter, 1995).

2.3 Respiración del suelo

El dióxido de carbono se produce en los suelos por las raíces y los organismos del suelo, y en pequeña medida por la oxidación química de los materiales que contienen carbono. El CO_2 se libera de los suelos en el proceso que se denomina variablemente como la respiración del suelo, la evolución del CO_2 del suelo o el flujo del CO_2 del suelo. La velocidad a la que el CO_2 se desplaza desde el suelo a la atmósfera se controla por la producción de CO_2 en el suelo (la verdadera tasa de respiración del suelo), la fuerza del gradiente de concentración de CO_2 entre el suelo y la atmósfera, temperatura y velocidad del viento que influyen en el movimiento de CO_2 a través y fuera del suelo.

La respiración del suelo se define como la producción total de CO_2 en suelos intactos como resultado de la respiración de organismos del suelo, raíces, micorrizas. Esta actividad se sustenta en la entrada de materia orgánica al suelo desde el suelo y desde las raíces.

Paul (2007) define la respiración del suelo como el proceso de oxidación de sustratos orgánicos a dióxido de carbono (CO_2) por los microorganismos del suelo (Durango, Uribe, Henríquez, & Mata, 2015).

La respiración del suelo es un flujo importante en el ciclo global del carbono, segundo en magnitud a la productividad primaria bruta, e igual o mayor que la productividad primaria neta terrestre global estimada.

“La respiración del suelo a menudo se determina midiendo el flujo de CO_2 de la superficie del suelo” (J. W. Raich & Schlesinger, 1992).

La respiración autotrófica del suelo se refiere a la respiración metabólica de la raíz viva, la micorriza asociada y los nódulos simbióticos de. La respiración heterotrófica es a partir de la descomposición microbiana de los exudados de la raíz en la rizosfera, en la arena sobre el suelo y bajo tierra, y en la materia orgánica del suelo (MOS). Incluyendo la humidificación y la fragmentación del detritus. (Guerrero-Ortiz, Espinoza, Benedicto, & Sánchez, 2012)

La combinación de las tasas de respiración autotrófica y heterotrófica sería el flujo del CO_2 del suelo. Esta determinación es importante para entender la dinámica de la emisión de CO_2 por el suelo en los bosques tropicales, su balance interno y su contribución al balance global del carbono (Wang, W; Jixun, Guo; Takehisa, 2007).

Resaltando lo que dice Wang en las líneas anteriores, Marthews et al. (2012) en “Medición de la Distribución y Dinámica del Carbono en los Bosques Tropicales: RAINFOR-GEM Manual de Campo para las Parcelas de Inventario Intensivo” nos dicen que la respiración del suelo se refiere al flujo total de CO_2 del suelo, que es igual a la respiración heterotrófica + respiración derivada de la raíz. Obsérvese especialmente que la respiración del suelo incluye la respiración microbiana de todos los residuos de plantas muertas, incluida la arena fina y los desechos leñosos gruesos, aunque generalmente se considera que están encima, en lugar de ser parte del suelo.

El flujo de CO_2 del suelo incorpora tanto la respiración del suelo como la difusión pasiva del CO_2 englobando procesos biológicos y físico-químicos, y representa los intercambios de CO_2 entre compartimentos de un sistema, mientras que la respiración del suelo es un proceso biológico, sumatoria de las liberaciones de CO_2 a la atmósfera resultante de varios procesos que ocurren en las superficies y capas más profundas del suelo como: la respiración de los microorganismos y de la macrofauna; procesos fermentativos que ocurren en profundidad bajo condiciones de anaerobiosis y la oxidación química (Ribeiro, 2014).

2.3.1 Respiración heterótrofa

La producción de CO_2 en el interior del suelo está relacionada con la actividad biológica, la descomposición de la materia orgánica del suelo por la actividad microbiana, que viene a ser la respiración heterótrofa. La emisión de CO_2 es el resultado de la interacción de los procesos de producción y transporte de ese gas en el interior del suelo. La descomposición de residuos de cultivos se ve afectada por factores adicionales tales como la calidad y localización de los residuos y el contenido del nitrato del suelo (Garnier et al., 2003). Estos procesos están fuertemente influenciados por las condiciones de temperatura y humedad del mismo (Buyanovsky, 1986; Sá et al., 2001).

2.3.2 Respiración autótrofa

La emisión de CO_2 del suelo es el producto de la actividad microbiana en la descomposición de la materia orgánica del suelo (MOS), de la concentración de CO_2 previamente existente en el suelo y de la retracción de las raíces de las plantas que realizan los árboles, que viene a ser la respiración autótrofa. La descomposición de MOS depende de varios hechos que incluyen la temperatura del suelo, el contenido de la humedad del suelo, la cantidad de carbono orgánico (Reicosky & Lindstrom, 1993).

Factores que influyen en la respiración del suelo

El flujo de CO_2 del suelo está fuertemente correlacionado con la temperatura del suelo y con la humedad del suelo, pudiendo explicar las variaciones estacionales del flujo de CO_2 (Buchmann, 2000 en (Ribeiro, 2014)

La tasa de transferencia del CO_2 del suelo a la atmósfera puede ser controlada por cinco factores: por su tasa de producción en el suelo; ii) por los gradientes de temperatura; por su concentración en la interfaz suelo atmósfera; por las propiedades físicas del suelo y por las fluctuaciones de la presión atmosférica del medio ambiente (Sotta, 1998).

Temperatura

La temperatura afecta a casi todos los aspectos de los procesos respiratorios. A nivel bioquímico, un sistema respiratorio involucra numerosas enzimas que impulsan la glucólisis

y el tren de transporte de electrones. Los estudios bioquímicos y fisiológicos generalmente demuestran una curva de temperatura-respuesta general que la respiración aumenta exponencialmente con la temperatura en su rango bajo, alcanza su máximo a una temperatura de 45 a 50 ° C.

Las bajas temperaturas pueden limitar la capacidad de las enzimas tanto solubles como ligadas a la membrana.

En temperaturas extremadamente altas, las enzimas pueden degradarse y la actividad respiratoria deprimirse.

La temperatura tiene efecto sobre las emisiones de CO_2 del suelo, en latitudes medias, la respiración del suelo aumenta proporcionalmente con la temperatura del suelo siguiendo un patrón exponencial (Davidson et al., 2000 en Chavez, 2008).

En diversos trabajos se han encontrado relaciones significativas entre la temperatura del suelo y del aire con las emisiones de CO_2 , que pueden elevar exponencialmente las tasas de respiración del suelo (Russell & Voroney, 1998).

2.3.3 Humedad del suelo

La sensibilidad a la temperatura de la respiración del suelo se ve afectada por las condiciones de humedad.

La humedad del suelo es otro factor importante que influye en la respiración del suelo. La relación conceptual común indica que el flujo de CO_2 en el suelo es bajo en condiciones secas, alcanza la tasa máxima en niveles intermedios de humedad del suelo y disminuye cuando el contenido de humedad del suelo es alto cuando las condiciones anaeróbicas prevalecen para deprimir la actividad microbiana aeróbica.

En las altas condiciones de humedad del suelo, los efectos del agua del suelo en la respiración se regulan principalmente por la concentración de oxígeno. Aunque los estudios de laboratorio sugieren la tasa máxima de respiración del suelo con un contenido óptimo de agua en el suelo, muchas de las observaciones de campo sugieren que la humedad del suelo limita el flujo de CO_2 del suelo sólo a los niveles más bajos y más altos.

Puede haber una meseta de respuestas de la respuesta del suelo a una amplia gama de humedad del suelo, con fuertes disminuciones a un contenido de humedad del suelo muy bajo o muy alto. La humedad del suelo infla la respiración del suelo directamente a través de los procesos fisiológicos de las raíces y microorganismos, e indirectamente a través de la difusión de los substratos y O_2 (Luo & Zhou, 2006).

2.3.4 Precipitación

La precipitación pluviométrica y el agua de percolación afectan el transporte de gas por desplazar físicamente el aire en los espacios porosos del suelo, por transportar gases atmosféricos disueltos al suelo, y por transporte vertical y horizontal de gases del suelo en solución (Livingston & Hutchinson, 1995). Estos procesos pueden llevar a un aumento o supresión del flujo de gas después de la lluvia (Glinski & Stepniewski, 1985), o un desplazamiento espacial o temporal entre áreas-fuentes o sumideros y áreas de intercambio en la interfaz superficie-atmósfera.

2.4 Los bosques y flujos de carbono

El bosque amazónico regula el flujo de grandes cantidades de dióxido de carbono y agua en la atmósfera, un papel importante en el clima regional y global. Al mismo tiempo, muchos bosques están cambiando en formas que podrían alterar la estructura y función del ecosistema, con potenciales consecuencias de largo alcance (Davidson et al., 2012 en da Costa et al., 2013).

Un agente importante de cambio es un aumento en la frecuencia y severidad de la sequía asociada a la deforestación, el fuego y, sobre todo, el cambio climático (Werth & Avissar, 2002).

La respiración global del suelo abarca una liberación del carbón a la atmósfera de aproximadamente 80 Pg C/año y las mayores contribuciones vienen de los bosques tropicales y subtropicales (Raich et al., 2002 en (Ribeiro, 2014)).

Los bosques tropicales con poco o nada de mar seco ocupan una gran parte de la Amazonia occidental, por lo que es importante comprender cómo los futuros cambios climáticos pueden afectar sus reservas de carbono (Del Aguila-Pasquel et al., 2013).

Los bosques tropicales y las sabanas representan más del 60% de la fotosíntesis terrestre global y juegan un papel importante en el ciclo global del carbono a través de la fijación, la respiración y el ciclo del carbono. La Amazonia es la más grande de los bosques tropicales del mundo, región que representan aproximadamente la mitad del área de bosques tropicales a nivel global (Malhi et al., 2013).

Es importante entender lo que es stock y flujo en este ciclo para muestrear y poder cuantificar. En los bosques tropicales se llama stock a todo el carbono que se encuentra almacenado en las hojas, ramas, fustes y raíces como biomasa viva, la necromasa de la hojarasca y la materia orgánica del suelo.

Y los flujos son aquellos procesos como la fotosíntesis de las hojas, la respiración autotrófica (árboles) y heterotrófica (hojarasca, madera muerta, suelo); la mortalidad de troncos, ramas, hojas y raíces; y la descomposición de la madera y la hojarasca causada por los organismos degradadores.

Los stocks de carbono se expresan en términos de peso por unidad de área (Mg ha⁻¹), en cambio los valores de los flujos siempre incluyen la variable tiempo y cuantifican la cantidad de carbono que entra o sale de un componente del stock de carbono en el tiempo (Mg/ha /año) (Honorio & Baker, 2010).

2.5 Variación temporal y espacial de la respiración del suelo

2.5.1 Variación temporal:

En general, la variabilidad temporal se puede caracterizar en cuatro escalas de tiempo: diario / semanal, estacional, interanual y decadal centenal.

2.5.2 Variación estacional

En casi todos los ecosistemas se ha observado una variación estacional del flujo de CO_2 en el suelo.

Las tasas de respiración del suelo suelen ser más altas durante el verano y más bajas en invierno. La variación estacional se debe en gran medida a los cambios en la temperatura, la humedad, la producción de fotosíntesis o sus combinaciones. Los principales factores que controlan la variación estacional de la respiración del suelo pueden depender del tipo de ecosistemas y clima.

En verano, la humedad se vuelve limitante, mientras que en invierno el factor limitante es la temperatura. Como resultado, la respiración del suelo disminuye en verano y es baja en invierno. En los ecosistemas mésicos, como los bosques lluviosos tropicales, los bosques templados y las praderas, la respiración del suelo generalmente sigue las tendencias estacionales en la temperatura y radiación del suelo (Anderson, 1973 en Luo & Zhou, 2006).

2.5.3 Variación espacial

La variabilidad espacial en la respiración del suelo ocurre en varias escalas, de unos cuantos centímetros cuadrados a varias hectáreas (ha). Si bien la variabilidad en centímetros cuadrados puede ser tratada por un diseño de cámara apropiado, la variabilidad en las escalas de metros cuadrados o mayores debe abordarse con estrategias de muestreo diseñadas apropiadamente (ej., Réplicas, áreas cubiertas y ubicaciones de collares o cámaras, etc.) y utilizando técnicas adecuadas de escalado.

La variabilidad espacial del eflujo de CO_2 del suelo debe entenderse para obtener una estimación representativa del presupuesto regional de carbono. Se suele discutir la variabilidad espacial en la respiración del suelo en cuatro escalas espaciales: soportes, paisajes, regiones y biomas (Luo & Zhou, 2006).

2.6 Métodos de estimación de flujos de carbono

No hay nada más importante que las mediciones precisas de efluentes de CO_2 en el desarrollo de la ciencia de la respiración del suelo. Sin mediciones precisas, no tendríamos certeza de los datos recolectados, no podríamos evaluar objetivamente las magnitudes relativas de la respiración del suelo entre los ecosistemas.

También depende de mediciones precisas la partición de la respiración medida del suelo en diferentes componentes fuente, la estimación de la asignación por debajo del suelo y el desarrollo de modelos para predecir o simular la respiración del suelo en entornos nuevos.

A continuación, se muestran algunos de los métodos más usados:

2.7 Método de cámara dinámica cerrada (CDC)

El método CDC es utilizar una cámara cerrada para cubrir un área de la superficie del suelo y, mientras tanto, permitir que el aire circule en un bucle entre la cámara y un sensor de detección de CO_2 (IRGA) durante las mediciones. Una vez que una cámara cerrada cubre la superficie del suelo, la concentración de CO_2 en la cámara aumenta, debido a la liberación de CO_2 desde debajo de la superficie del suelo. La tasa de aumento de CO_2 es proporcional al efluente de CO_2 del suelo.

- 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_2 es medido. El aire dentro de la cámara es mezclado cuidadosamente sin generar diferencia de presión. La concentración de CO_2 es medido cada ocho segundos por el EGM-4 y una función cuadrática ajusta la relación entre el incremento de la concentración de CO_2 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_2 en la cámara aumenta debido a la liberación de CO_2 debajo del suelo. El incremento de la tasa de CO_2 del suelo es proporcional a la respiración del suelo. El EGM-4 determina la tasa de respiración usando dos valores de concentración de CO_2 del inicio y el final, este incremento de la cantidad de CO_2 del suelo es usado para dejar la tasa de respiración del suelo, mediante la siguiente ecuación citar a Barry 2000:

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

Donde C_i es la inicial y C_f la final de la concentración de CO_2 , V es el volumen del sistema, t es el tiempo entre los puntos de medidas de 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 CO_2 , para medir continuamente la concentración de CO_2 y reingresa a la cámara a través de un anillo dispersor de aire en la parte inferior. La concentración de 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.

2.7.1 Método de cámara dinámica abierta (ODC)

El método ODC utiliza un modo diferencial para estimar los efluentes de CO_2 en contraste con el sistema dinámico cerrado que usa cambios en la concentración de CO_2 durante un período de tiempo. Con el método ODC, el aire ambiente fluye desde una entrada a través de una cámara hasta una salida. El aire que sale de la cámara se

enriquece con la concentración de CO_2 en relación con el aire que ingresa a la cámara, debido a la liberación de CO_2 de la respiración en la superficie del suelo.

2.7.2 Métodos de cámara estática cerrada (CSC)

Los métodos CSC cubren un área de la superficie del suelo con una cámara que tiene un absorbente químico en el interior para absorber las moléculas de CO_2 dentro de un cierto tiempo. Los absorbentes químicos para el atrapamiento de CO_2 incluyen una solución de álcali (NaOH o KOH) y cal sodada, que consiste en NaOH y $Ca(OH)_2$.

El método de solución de álcali es probablemente el método más antiguo de medición de la respiración del suelo (Lundegårdh 1927 en Luo & Zhou, 2006), dado que la cámara se cierra sin flujo de aire excepto las emisiones de CO_2 del suelo, este método también se denomina a veces la técnica de la cámara no estacionaria o de flujo no pasante.

2.8 Antecedentes

Sotta (1998) en su investigación titulada "Flujo de CO_2 entre suelo y atmósfera en bosque tropical húmedo de la Amazonía Central", tuvo por fin obtener una estimación del flujo de CO_2 del suelo en un bosque tropical húmedo primario. Caracterizar la variación diaria de emisión de CO_2 del suelo en este bosque. Probar las relaciones entre la temperatura, la precipitación y la humedad del suelo y su flujo. Su área de estudio se ubicó en el km 14 al margen izquierdo, en el sur de la costa sur de la provincia de Buenos Aires, en la provincia de Manaus, Brasil. Se estableció una parcela de 60 m de ancho y 180 m de longitud, dividida en 27 sub-parcelas de 20 m x 20 m. El tiempo empleado para completar los muestreos de las sub-parcelas fue de 23 días. El equipo utilizado para medir los flujos de CO_2 se compuso de un Analizador de Gas por infrarrojo - IRGA, un conjunto de tres bombas de aire y tres válvulas solenoides multiplexoras de flujo, un "datalogger", dos cámaras de gas y un sensor de temperatura. Los anillos de metal se colocaron en los puntos seleccionados y forzados para que penetraran aproximadamente 1 cm en el suelo. El instrumento para medir el flujo de CO_2 del suelo se compuso de dos cámaras abiertas

de flujo dinámico, que se alternaban, permitiendo mediciones continuas. La cámara permitía el desplazamiento de la capa límite de la interfaz suelo-atmósfera, reproduciendo la transición de la fase estacionaria difusiva (dentro del suelo) a la fase dinámica (en la atmósfera cercana al suelo), sin que hubiera contacto con el suelo. La entrada de aire atmosférico en la cámara, como referencia, hizo las mediciones independientes de las oscilaciones de la concentración de CO_2 que ocurren en la atmósfera cercana al suelo, alrededor de la cámara. El enriquecimiento del aire atmosférico de referencia, que entra en la cámara con el CO_2 difundido de la fase estacionaria, reflejó la emisión del CO_2 de la superficie del suelo. Las concentraciones de CO_2 del aire atmosférico de referencia entrando en la cámara y el aire dentro de la cámara se midieron por un analizador de gas infrarrojo LCA-3, conectado a las cámaras por tubos plásticos. La temperatura del suelo fue siempre monitoreada utilizando, cerca de las cámaras, un sensor (termopar - termistor 107 tipo-beta, Radio Spares - UK) a prueba de agua, que registraron las temperaturas en C en las profundidades de 0 cm, 1 cm, 5 cm, 10 cm, 25 cm y 50 cm. En sus resultados la variación espacial, de la actividad de los organismos autotróficos y heterotróficos, de la cantidad y calidad del sustrato del suelo modificaron los flujos a lo largo del tiempo, especialmente debido al cambio en la humedad del suelo. Sin embargo, no se encontró una tendencia clara en las medias de los flujos medidos entre el inicio y el final de la recolección de los datos para el estudio de la variación espacial. La curva no presentó una relación obvia ($y = 0,0045 + 6,2297x$), variando de $6,3 \text{ Mol } CO_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en los primeros puntos a $7,0 \text{ Mol } CO_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en los últimos puntos. En la variación temporal se mostró que, durante la noche, el flujo tiende a ser más estable que durante el día. La temperatura aumentó del inicio al final del período total de recolección de datos, contrariamente, el flujo disminuyó. Durante la lluvia tanto el flujo como la temperatura cayeron.

Janssens et al. (2001) en su investigación "Los flujos de CO_2 del suelo forestal estimados por la covarianza de Eddy y el modelo basado en la cámara" buscó estimar el efluente del CO_2 en el suelo forestal durante un período de 3 semanas en verano. El estudio se realizó

en un estrato de pino escocés (*Pinus sylvestris* L.) de 69 años de edad, en la región de Belgian Campine, en el contexto de los proyectos europeos ECOCRAFT y EU-ROFLUX. El pinar de 2 hectáreas formó parte de una parcela de observación de nivel II del programa europeo para el monitoreo intensivo de los ecosistemas forestales, administrado por el Instituto Forestal y Game Management, Flandes, Bélgica. Las condiciones climáticas durante el experimento (3-20 de julio de 1998) fueron muy homogéneas, principalmente con clima gris y llovizna. La liberación de CO_2 de estos 16 collares se midió a intervalos de 4 semanas entre abril de 1996 y febrero de 1998 utilizando dos técnicas diferentes que fueron seleccionadas por su idoneidad para evaluar la variabilidad espacial. En mayo de 1997 y julio de 1998 se aplicó un sistema de análisis de gas infrarrojo de cámara cerrada (CIRAS-1 equipado con SRC-1, PP-Systems) para evaluar la variación diurna del efluente del CO_2 en el suelo. Las mediciones con el sistema de cámara cerrada permitieron sistemáticamente un aumento CO_2 máximo de 50 ppm dentro del espacio de cabeza de la cámara y una duración máxima de 2 minutos. La instrumentación de covarianza de Eddy consistió en un anemómetro sónico (Metek USAT-3, Alemania) y un IRGA (LI-6262, LICOR, EE.UU.). Los datos se recopilaron a 10 Hz. El sonido se montó a una altura de 1,65 metros sobre el piso del bosque; En sus resultados las medidas de covarianza Eddy mostraron más variabilidad y dependencia diurna. Los flujos turbulentos de CO_2 durante el día aparentemente fueron influenciados por la presencia de una capa de musgo en el suelo del bosque; los efectos combinados de la fotosíntesis de musgo y la respiración redujeron los flujos turbulentos en un promedio de $0.6 \text{ mol } m^{-2} s^{-1}$ en relación con el efluente del suelo modelado. Por la noche, los flujos turbulentos de CO_2 estaban de acuerdo con el efluvio del suelo modelado; sin embargo, los flujos turbulentos fueron altamente variables (desviación estándar superior a la media), debido a las condiciones imperfectas de muestreo asociadas con la capa límite nocturna. Estos resultados ilustran los diferentes procesos medidos por los dos métodos y resaltan algunas de las limitaciones de la técnica de covarianza de remolino para estimar el efluente de CO_2 en el suelo. Finalmente,

demuestran la necesidad de más estudios de intercomparación a largo plazo, cubriendo un rango más amplio en la temperatura del suelo y la humedad.

Salimon (2003) en su trabajo "Respiración del suelo bajo bosques y pastos en la Amazonía Sur-Occidental, Acre". Tuvo por objetivos: Determinar la influencia de la presencia de hojas de las gramíneas en la medición del flujo de CO_2 del suelo en pastos. Determinar e identificar el patrón estacional del flujo de CO_2 del suelo a la atmósfera en pastos, bosques secundarios y bosques intactos. Comparar los flujos de CO_2 entre estas cubiertas del suelo. Calcular los flujos anuales de CO_2 del suelo a la atmósfera en cada una de estas cubiertas. Cuantificar y comparar la respiración heterotrófica en pastos, bosques intactos y bosques secundarios. Determinar el $\delta^{13}C$ del carbono respirado en pastos y bosques intactos. Evaluar la influencia del cambio de cobertura y el uso del suelo en los flujos anuales de CO_2 a nivel del paisaje. El estudio se desarrolló en el estado de Acre, con 153.000 km², se sitúa en la región suroeste de la Amazonia. Las colectas de suelo fueron hechas en las áreas Peixoto y Humaitá. Estas 2 áreas fueron seleccionadas y los análisis del suelo fueron efectuados anteriormente al inicio de este trabajo e indicaban que había un gradiente en la saturación de bases. Por lo tanto, fueron seleccionadas dos áreas: una de suelos más pobre, referida como "más distrófica" (Peixoto); y otra de suelos menos pobres, referida como "menos distrófica" (Humaitá). De esta forma, se muestrearon suelos de 2 pastos, 2 bosques secundarios y 2 bosques intactos. Las colectas de suelos se realizaron en diciembre de 2000 y enero de 2001. El flujo de CO_2 se midió con un analizador de gas por infrarrojo (IRGA, por sus siglas en inglés) modelo LICOR-5262 acoplado a un sistema dinámico de cámara ventilada (Davidson et al., 2002a). Las medidas fueron siempre realizadas entre las 9:00 y las 14:00, aunque no hubo una gran variación diurna en pruebas de 24h. El flujo de CO_2 del suelo a la atmósfera se calculó a partir del coeficiente angular de la recta obtenida por la regresión lineal entre la concentración de CO_2 y el tiempo.

La variación estacional del flujo se determinó a través de la medida mensual de los flujos en todos los lugares de recolección a lo largo de un año (entre julio de 1999 y julio de 2000) para pastos y bosques. En cuanto a sus resultados, en general, los flujos de CO_2 del suelo a la atmósfera variaron entre 100 y 500 $mg\ C\ m^{-2}h^{-1}$, siendo mayores en el período lluvioso. En el presente estudio se analizaron los resultados obtenidos y también para ecosistemas de clima templado, donde los flujos varían entre 50 en el invierno y 300 $mg\ C\ m^{-2}h^{-1}$ en el verano. En el flujo de CO_2 , el análisis de los resultados aquí presentados mostró que no hubo diferencia estadísticamente significativa entre los suelos más distróficos y los menos distróficos. De esta forma, al presentar los resultados aquí para cada tipo de cobertura de suelos, utilizamos los promedios de todos los locales para cada cobertura. Los mayores flujos fueron observados durante la estación lluviosa (de noviembre a mayo) con picos en enero y febrero. Los menores flujos se registraron en el mes de agosto, uno de los meses más secos del año. Por lo tanto, pastos y bosques claramente presentaron una variación estacional en el flujo de CO_2 del suelo. En febrero (estación lluviosa), los flujos en los pastos fueron 4,3 veces mayores que en agosto (estación seca). La especie dominante de gramínea de estos pastos tiene toda su biomasa aérea en forma de hojas. Cuando esta biomasa disminuye en la estación seca, la tasa fotosintética también disminuye, y presumiblemente lo mismo ocurre con las respiraciones radicular y microbiana en la rizosfera, causando un descenso en el flujo total de CO_2 del suelo. Se debe observar que estos resultados aquí presentados para pastos incluyen la influencia de las hojas en la medida del flujo. La retirada de hojas repetidamente dentro de los anillos de medida podría provocar un sesgo metodológico más grave que la estimación separada de su influencia. Sin embargo, incluso utilizando un factor de corrección de 0.52, los valores del flujo en pastos aún serían mayores que los de los bosques intactos y secundarios.

Girardin et al. (2013) en su trabajo titulado "Productividad y asignación de carbono en un bosque nuboso de montaña tropical en los Andes peruanos" que abordó las siguientes preguntas específicas: ¿cómo varían los componentes de la NPP y la respiración autótrofa

de estos bosques nubosos montañosos tropicales a gran altitud durante el ciclo estacional y cuáles son los principales factores climáticos de la productividad?; ¿Cuáles son las tendencias estacionales de GPP y CUE?; ¿Cómo se compara el presupuesto de carbono (definido a través de NPP, Ra, GPP y CUE) entre dos parcelas de bosque nuboso muy próximas, con diferentes microclimas?. El estudio se basó en proporcionar la descripción completa del ciclo de carbono en la parcela de Wayqecha y los primeros datos de la parcela de Esperanza. La Esperanza (elevación 2825 m) y Wayqecha (elevación 3025 m) las parcelas se encuentran en la zona de amortiguamiento cultural del Parque Nacional del Manú, Cusco, Perú. Ambas parcelas están situadas cerca del límite superior de la zona del bosque nuboso, con la línea de árboles a aproximadamente 3200-3500 m de elevación, donde el bosque hace una transición brusca a la vegetación de puna dominada por el fuego. Este trabajo presenta los primeros presupuestos integrales de carbono, que comparan datos de dos parcelas de elevación de 1 ha en los Andes peruanos. Se presentan las tendencias anuales y estacionales de los componentes de NPP, GPP y CUE promediados durante un período de tres años.

Las series temporales de radiación solar, temperatura del aire, humedad y precipitación se obtuvieron de una estación meteorológica automática (AWS) instalada a 1 km de la parcela Wayqecha. Las mediciones de la respiración de NPP, Ra y Rh se realizaron en 2007 (Wayqecha) y en 2009 (Esperanza y Wayqecha). Los protocolos utilizados para estimar los componentes del flujo de C del ecosistema se basaron principalmente en los desarrollados por la red de Monitoreo del Ecosistema Global (GEM) de RAINFOR. El flujo de CO₂ en la respiración total del suelo se midió utilizando un método de cámara dinámica cerrada con un analizador de gases infrarrojos y cámara de respiración del suelo (EGM-4 IRGA y cámara SRC-1, PP Systems, Hitchin, Reino Unido) sellada a un collar permanente en el suelo. La temperatura de la superficie del suelo se midió con una sonda T260 (Testo Ltd, Hampshire, RU) y la humedad del suelo se registró con una sonda Hydrosense (Campbell Scientific Ltd, Loughborough, Reino Unido). Se realizaron las evaluaciones cada

mes, en Esperanza del 2009 al 2011 y en Wayqecha del 2007 al 2011. En cuanto a sus resultados las mediciones de respiración total (R_{total}) no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$) en Esperanza, promediando $1.33 \pm 0.069 \mu\text{mol } m^{-2}s^{-1}$ para los núcleos inalterados, y $1.44 \pm 0.081 \mu\text{mol } m^{-2}s^{-1}$ para los núcleos alterados, un 9% de diferencia. En Wayqecha, los núcleos inalterados dieron como resultado valores significativamente menores ($P < 0.05$), con un promedio de $2.22 \pm 0.088 \mu\text{mol } m^{-2}s^{-1}$, en comparación con el promedio de núcleos alterados $2,48 \pm 0,089 \mu\text{mol } m^{-2}s^{-1}$, una diferencia del 11%. No hubo una tendencia significativa en esta diferencia sobre escalas de tiempo interanuales o estacionales en ninguna de las parcelas. Se calculó el porcentaje medio de respiración atribuible a la rizosfera restando los valores mensuales de los tubos excluyendo la respiración de la rizosfera de aquellos que incluyen rizosfera y respiración heterotrófica. La respiración media total de la rizosfera en Esperanza y Wayqecha fue de $3.73 \pm 0.63 / 5.03 \pm 0.95 \text{ Mg C } ha^{-1}año^{-1}$, sin diferencia significativa. La fracción de carbono asignada a la respiración de la rizosfera se estimó en 28% / 31% de la respiración del suelo (media mensual), disminuyendo significativamente ($P < 0.001$) a 23% / 30% durante la estación seca (junio a octubre) en comparación con una media del 31% / 33% durante el resto del año (Figura 5). La respiración total del suelo tuvo un ciclo estacional significativo ($P < 0.001$) y fue más baja en la estación seca (de mayo a septiembre) en ambas parcelas. La respiración promedio anual total del suelo no fue significativamente diferente entre los sitios, promediando $9.52 \pm 2.68 / 10.63 \pm 3.54 \text{ Mg C } ha^{-1}año^{-1}$. La respiración total del suelo heterotrófico tuvo un ciclo estacional significativo ($P < 0.001$) y fue más baja en la estación seca. La respiración heterotrófica media anual total del suelo fue significativamente menor ($P < 0.05$) en ESP, promediando $6.81 \pm 0.87 \text{ Mg C } ha^{-1}año^{-1}$, que en Wayqecha, promediando $7.22 \pm 1.02 \text{ Mg C } ha^{-1}año^{-1}$.

Del Aguila-Pasquel et al. (2013) en su investigación "El ciclo estacional de productividad, metabolismo y dinámica de carbono en un bosque húmedo estacional en el noroeste de la Amazonia (Iquitos, Perú)". En este estudio compararon el ciclo y la asignación de carbono

en dos parcelas (<1 km de separación) con suelos contrastantes, un bosque con un sustrato de arena principalmente blanco, con una riqueza de especies relativamente baja (Alp C) y la otra sobre un sustrato inclinado, principalmente de arcilla con mayor riqueza de especies (Alp A). Mostraron los resultados de 2 años de mediciones anuales detalladas de ciclo de carbono estacional y promedio. Se buscó determinar de qué forma la falta de una estación seca afecta la estacionalidad de la NPP y la magnitud absoluta de GPP y NPP, además de cómo se diferencia el ciclo del carbono en estos bosques entre la arena blanca y los suelos arcillosos.

El sitio de estudio del estudio se situó a 25 km al sur de la ciudad de Iquitos, provincia de Maynas, Departamento de Loreto, Perú, dentro de la Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana, que es administrado por el peruano Instituto de Investigación Amazónica (IIAP). La altitud sobre el nivel del mar en la Reserva varió entre 110 y 180 m. Los suelos variaron en textura desde la arcilla hasta la arena casi pura, y en el drenaje de los pantanos anegados a las cimas de las colinas bien drenados. Las dos Parcelas de 1 ha, que en este estudio se denominaron: Alp A de 20 m × 500 y Alp C de 40 m × 250 m dentro de la red RAINFOR de parcelas de inventario forestal a largo plazo, en 1990 y 2001. Los protocolos que utilizaron para estimar los componentes del flujo de C del ecosistema dentro de la parcela de 1 ha (dividida en 25 subparcelas de 20 m × 20 m) se basaron en gran medida en los desarrollados por la Red RAINFOR-GEM. La radiación solar, la temperatura del aire, la humedad relativa y los datos de precipitación se obtuvieron de una estación meteorológica automática (AWS) (Skye Instruments, Llandrindod, RU) en un sitio abierto a aproximadamente 1 km de la parcela (metodología meteorológica detallada en el material complementario en línea) El contenido de humedad del suelo en los 18 cm superiores se midió mensualmente en 25 ubicaciones por parcela utilizando una sonda Hydrosense (Campbell Scientific Ltd., Loughborough, Reino Unido). El flujo de CO_2 total del suelo se midió utilizando un método de cámara dinámica cerrada, en el centro de cada una de las 25 subparcelas en cada parcela con un analizador de gases infrarrojos (IRGA; EGM-4) y

cámara de respiración del suelo (SRC-1) sellada a un collar permanente en el suelo. Desde Junio del 2009 hasta Septiembre del 2011. Los resultados que obtuvieron en cuanto a respiración los calcularon con el porcentaje de respiraciones promedio atribuible a la rizosfera restando los valores mensuales de los tubos excluyendo la respiración de la rizosfera de aquellos que incluyen la respiración heterótrofa y la rizosfera. Los valores promedios mensuales de la respiración de la rizosfera en Alp A fueron del 25% de la respiración del suelo, y esta fracción no mostró ninguna variación estacional. Los valores promedios mensuales en Alp C fueron el 31% de la respiración del suelo. Esto no varió mucho estacionalmente, con valores de junio a octubre promediando 27%, y el resto del año con un promedio de 35%. La respiración total del suelo no tuvo un ciclo estacional fuerte. La respiración promedio anual total del suelo no fue significativamente diferente entre parcelas y promedió $18.12 \pm 2.39 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en Alp A y $18.18 \pm 1.71 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en Alp C. La respiración total de la rizosfera fue significativamente diferente entre parcelas ($P < 0.005$) y promediado $4.44 \pm 0.92 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en Alp A y $6.38 \pm 0.93 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en Alp C. La respiración heterotrófica total del suelo no fue significativamente diferente entre parcelas y promedió $13.69 \pm 2.64 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en Alp A y $11.80 \pm 1.97 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en Alp C.

Flores (2016) en su investigación "Comportamiento de respiración del suelo en ecosistemas con diferentes periodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica en el distrito de Jenaro Herrera, Loreto" que tuvo como objetivo Determinar el comportamiento fluctuante de la respiración del suelo asociado a los diferentes periodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica. El área de estudio comprendió, las once parcelas no continuas dentro del Distrito de Jenaro Herrera, provincia de Requena, departamento de Loreto. La metodología que aplicó consistió en diferentes técnicas como, la instalación de parcelas se realizó en once ecosistemas de estudio, bajo la denominación de: Varillal, el cual es una extensión de bosque con suelo de arena blanquecina y árboles delgados y recto, sin antecedentes de deforestación. Bosque de terraza alta, son

extensiones planas u onduladas, no llegan a inundarse alejados de los cauces de los ríos, sin antecedentes de deforestación. Plantación de Tornillo y Plantación de Huacapu, extensión de bosque reforestado, no inundables. Pasto degradado, extensión de suelo con actividad de pastoreo abandonado. Pasto activo, terreno con actividad de pastoreo de ganado vacuno. Chacra, extensión de suelo con cubierta sembríos de productos agrícolas. Purma, son terrenos abandonados y degradados, que han sido deforestados para fines agropecuarios. Restinga baja y Restinga baja II, extensión de suelo inundada de agua blanca en período de creciente del Río Ucayali, sin historial de deforestación. Aguajal, 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; éstas parcelas son clasificados bajo periodos de inundación anual como ecosistemas inundados y no inundados; y niveles de perturbación antrópica, esto es, bosque primario, bosque degradado y bosque en recuperación. Para tomar los datos 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. El EGM-4 registró los datos en su memoria interna por lo cual se transfirió los datos a un computador para su posterior análisis. La profundidad consistió en medir la distancia entre el suelo y la parte superior del tubo de medición, para esto, usaron una regla metálica, la cual se colocó 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. Para medir la temperatura y la humedad se usó un higrómetro y un termómetro digital, los cuales se insertó 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.

Los datos tomados en campo y descargados al computador se exportaron en un archivo de Excel (xls.). Se determinó la respiración del suelo (t CO₂ ha⁻¹ año⁻¹), usando la siguiente ecuación (Marthews et al., 2012).

$$R_{uc} = \frac{C_{10} - C_1}{t_{10} - t_1} * \frac{P}{(T_a + 273.15)} * \frac{V_d}{A} * \frac{44.01 * 0.36}{R_u} t CO_2 ha^{-1} año^{-1}$$

Donde:

R_{uc}= Respiración en t CO₂ ha⁻¹ año⁻¹

C₁₀ - C₁ = Concentración de CO₂ en ppm de los registros 10° y 1°.

T₁₀ - T₁= Tiempo transcurrido desde que empieza la medición en los registros 10° y 1°.

P = presión atmosférica del registro 10°.

T_a= Temperatura del aire (°C)

V_d= Volumen de la cámara de respiración del suelo m³ ($V_d = \pi r^2 h$)

A= Área de la sección del tubo en m² ($A = \pi r^2$)

R_u= Constante universal de los gases (8.31432 J mol⁻¹ K⁻¹)

Realizó dos repeticiones para cada muestra tomada. Para el análisis de datos obtenidos 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 periodos de inundación, Kruskal-Wallis con post-hoc Dunn para las parcelas con niveles de perturbación antrópica y correlación con la humedad y temperatura.

En cuanto a sus resultados, 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 CO₂ ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. La prueba suma de rangos de Wilcoxon (p<0.05) demostró estadísticamente que hubo diferencia significativa en la respiración de suelo entre las parcelas inundadas (Restinga baja I, Aguajal, Restinga baja II y Plantación de Huacapu) y no inundados (Plantación de Tornillo, Varillal, Pasto degradado, Pasto activo, Chacra,

Purma y Bosque de terraza alta). Los niveles de perturbación antrópica mostraron una diferencia decreciente de la respiración del suelo desde parcelas de bosques degradados seguido de bosques en recuperación y bosque primario (62.02 ± 2.08 , 50.94 ± 0.95 y 49.93 ± 1.60 t CO₂ ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente). Las parcelas evaluadas presentaron variación de la respiración del suelo entre los meses de agosto del 2014 hasta enero del 2015 ($p < 0.05$). En la mayoría de las parcelas mostraron una tendencia decreciente durante la época lluviosa. La correlación de la respiración del suelo con la variable temperatura es positiva en casi todos los casos. Los resultados demuestran una predominancia de correlación de la respiración del suelo con la temperatura. La correlación de la respiración del suelo con humedad fue inversamente proporcional para todas las parcelas.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

Este estudio se desarrolló en las inmediaciones del Área de Conservación Regional Cordillera Escalera (ACR-CE), que está ubicado en el departamento de San Martín y forma parte de la cadena de montañas denominada Cahuapanas. Estas montañas representan la cadena más oriental, septentrional y más joven de los Andes Orientales. Además, está comprendido entre las montañas del Bosque de Protección Alto Mayo y el Parque Nacional Cordillera Azul. Se extiende sobre las jurisdicciones de los distritos de Pinto Recodo, San Roque de Cumbaza, Pongo del Caynarachi y Barranquita, en la provincia de Lamas; y de los distritos de San Antonio de Cumbaza, Tarapoto, La Banda de Shilcayo, Shapaja y Chazuta, en la provincia de San Martín. Ésta fue tomada como la población.

Esta área constituye una porción de la selva alta donde nacen importantes ríos que abastecen de agua a la población humana de las ciudades más importantes de la Región San Martín y alberga una singular diversidad biológica cuya conservación, a través de su protección y uso sostenible, constituye una prioridad regional y nacional.

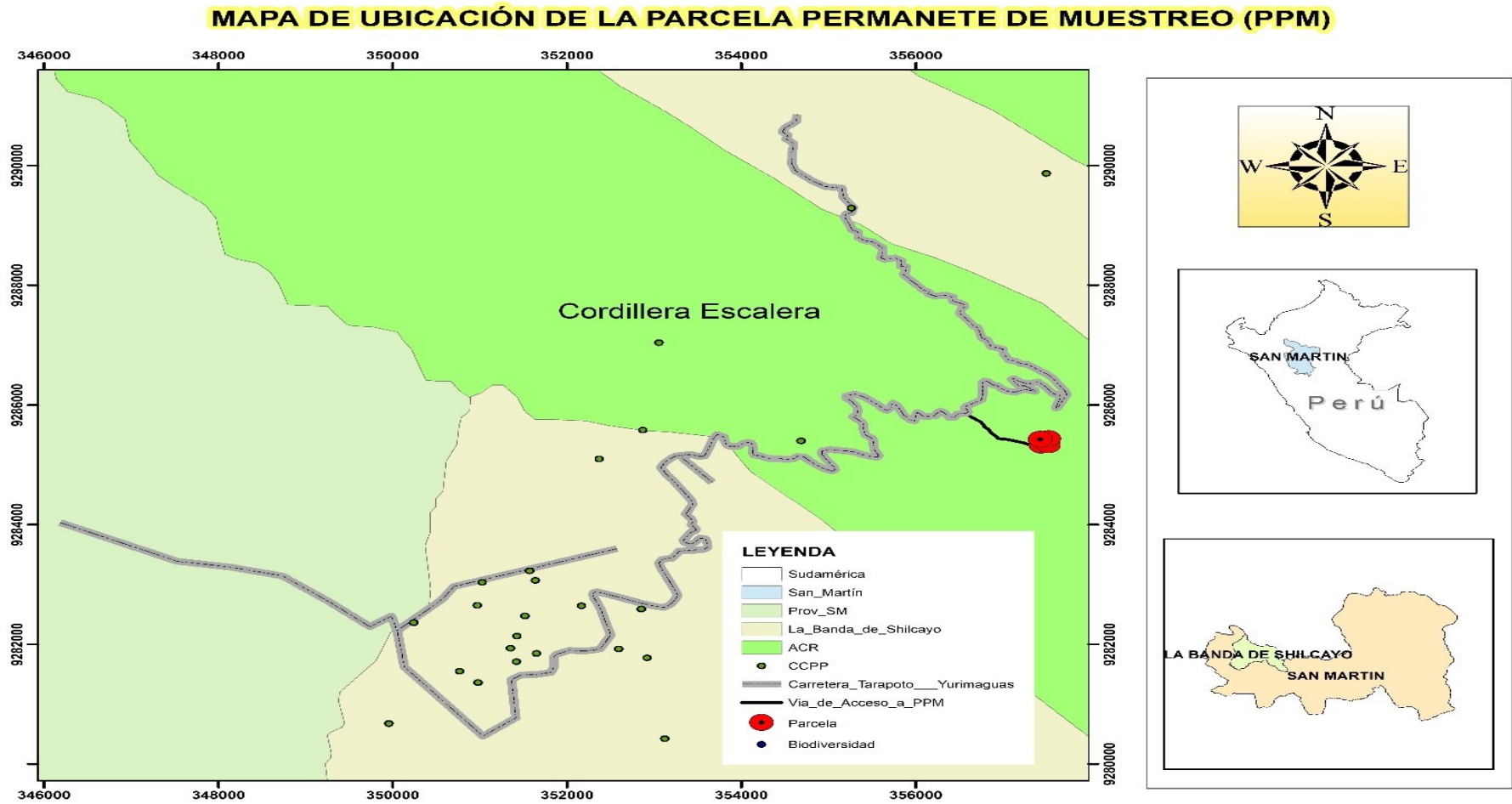


Figura 1: Mapa de ubicación de la parcela permanente de muestreo (PPM)

Fuente: Elaboración propia 2018.

3.1.1 Ubicación geográfica

Geográficamente, está ubicada en la zona 18 del sistema de proyección UTM, entre las coordenadas 302115 E, 9 266810 N y 400150 E, 9342954 N, con Datum WGS 84 y tiene una superficie total de 149870 hectáreas.

3.1.2 Accesibilidad

Para acceder a la parcela permanente de muestreo, es necesario hacer uso del transporte terrestre, dirigiéndonos hasta el km 16 de la carretera Tarapoto – Yurimaguas. A partir de allí se camina 15 minutos hasta el Centro de Investigación de la Universidad Nacional de San Martín (Biodiversidad), para luego trasladarnos hacia la PPM ubicada

3.1.3 Clima

En términos de precipitación, el ACR–CE puede dividirse en dos grandes zonas: la vertiente oriental de la Cordillera Escalera que tiene un rango de precipitación de 2.500 a 3.500 mm, y la vertiente occidental con precipitaciones que van de 1.500 a 2.000 mm.

3.1.4 Fisiografía

La unidad fisiográfica de la zona de muestreo, siguiendo la clasificación de zonas de vida de Holdridge está catalogada como Bosque Húmedo Pre montano Tropical (bh-PT) y tiene las siguientes características: Está entre los 650 y 1000 msnm, se caracteriza por su profusión de colinas altas, depresiones, laderas y montañas.

3.1.5 Vegetación

La comunidad vegetal natural más importante que existe en el ACR–CE es el Bosque Denso Perennifolio, constituido por un bosque mixto de especies latifoliadas siempre verdes, que varía localmente en cuanto a densidad, altura y composición de especies, de acuerdo a las condiciones medioambientales del hábitat. Este bosque contiene gran cantidad de especies arbóreas y una gran diversidad de bejucos, lianas, arbustos y hierbas, así como epífitas; es muy dinámico, estando en constante regeneración por el sistema natural de claros creados por la caída de árboles, debido generalmente a los fuertes vientos existentes en la región.

3.1.6 Suelos

El Gobierno Regional de San Martín (2007) menciona que "los suelos que se encuentran en la parte montañosa del ACR-CE son de tipo cambisoles dístricos". Presentan una capa superficial y substrato de textura franca, con limitaciones por su baja capacidad de retención de nutrientes y acidez mediana a baja (mediana a baja toxicidad de aluminio).

Son suelos de pequeño espesor, baja retención de agua, con factores climáticos severos, elevada pedregosidad y/o rocosidad, baja fertilidad y elevada salinidad.

El área de estudio, y en particular la parcela, presenta suelo arenoso.

3.2 Zona de muestreo

Específicamente dentro de los límites que corresponde al Centro Académico, Investigación y Ecoturismo – Biodiversidad ubicado a la altura del km 16 de la carretera Tarapoto – Yurimaguas. Las coordenadas geográficas son Zona 18M 352587 E, 9273958 N, ubicado a una altitud de 950 msnm; dicho centro pertenece a la Universidad Nacional de San Martín.

Según Rasmussen & Gonzales (2009) "la mayor parte del Cerro Escalera es bosque tropical primario con limitada actividad agrícola o maderera".

3.2.1 Parcela permanente de muestreo (PPM)

En la zona de estudio, una parcela permanente de muestreo de una hectárea fue instalada en marzo del año 2013 por el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), la cual fue denominada ESC – 01 utilizando el protocolo de la Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR).

La parcela tiene una forma cuadrada y sus dimensiones son de 100m x 100m y está dividida en 25 sub parcelas de 400m² (20m x 20m) cada una. Las coordenadas de sus vértices se describen en la Figura N°1.

El trabajo a desarrollar contempla el estudio de los 25 tubos para medir la respiración total del suelo.

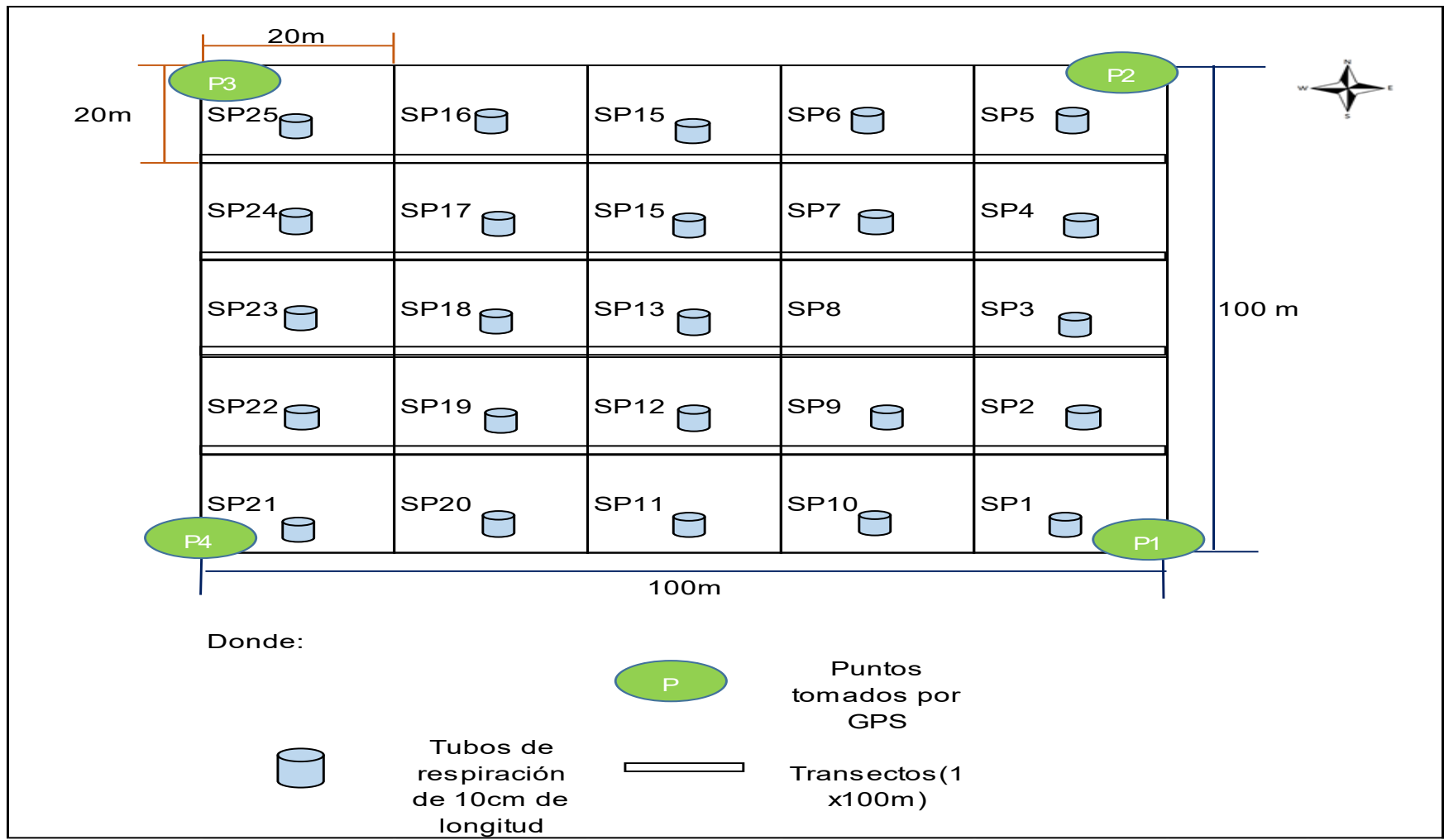


Figura 2: Tubos de medición de respiración total en la PPM

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

La ubicación exacta de los puntos se muestra a continuación:

Tabla 1: Coordenadas UTM de las esquinas de la PPM

Punto	X (N)	Y (E)	Z (msnm)
P1	357436	9285329	945
P2	357526	9295334	950
P3	357528	9285436	960
P4	357430	9285424	945

Fuente: Elaboración propia 2018.

3.3 Diseño y Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, de alcance correlacional. Se someterá a una parcela de 1ha a evaluación de sus emisiones de carbono. La presente investigación se desarrolló con un diseño no experimental longitudinal (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

3.4 Hipótesis de la Investigación

“Existe relación entre las emisiones de CO_2 y la temperatura ambiental en la parcela ESC – 01 Área de Conservación Regional Cordillera Escalera – San Martín”

3.5 Descripción de Variables

Variable 1: Emisiones de dióxido de carbono

Variable 2: Temperatura ambiental

3.6 Población y muestra

En este estudio la población está considerada como la PPM, el suelo del bosque húmedo pre montanos tropical del Área de conservación Regional Cordillera Escalera.

La muestra fueron las 25 porciones de suelo instalados dentro de la Parcela Permanente de Monitoreo de 1 hectárea que forma parte de la red parcelas permanentes monitoreadas por la Red Amazónica de inventarios forestales (RAINFOR) en el Perú.

3.7 Método de evaluación de Respiración total

De acuerdo con Honorio & Baker (2010), se realizó un muestreo estratificado en los 25 puntos equidistantes instalados dentro de la parcela de 100 x 100 m. Cada punto está instalado dentro de cada una de las 25 sub parcela de 20x20 m. Cada punto de monitoreo consta de un collar de PVC de 10 cm de longitud 10 cm y de diámetro enterrados en el

suelo hasta la tercera parte aproximadamente, a estos collares se le denomina cámara de respiración.

La toma de datos de las emisiones de CO_2 por respiración total del suelo se realizó mensualmente con la ayuda de EGM-4, un termómetro y laptop.

En cada cámara de respiración se realizó el monitoreo, 2 tomas por cada collarín, luego de ello se tomará la temperatura ambiental, temperatura del suelo fuera de la cámara de respiración y finalmente temperatura del suelo dentro de la cámara de monitoreo, es importante tener presente que la temperatura del suelo dentro de la cámara se debe tomar después de haber realizado las dos tomas de datos con el equipo. Finalmente, los datos fueron transferidos en campo del EGM-4 a la laptop con la ayuda del programa PP Systems Transfer Software.

Luego de tener los datos de flujos de emisiones, de acuerdo con Honorio & Baker (2010) se tuvo que convertir las unidades de flujos de CO_2 de $g\ CO_2\ m^{-2}\ h^{-1}$ (unidad 2) a $\mu mol\ m^2\ s^{-1}$ (unidad 1) y escoger aquellas mediciones que tienen un incremento lineal en los valores promedio durante el periodo de evaluación realizado por 124 segundos por cada medición, para obtener valores promedios de cada cámara de respiración y finalmente realizar un promedio final por toda la parcela de todos los valores promedios de las 25 cámaras.

Se debe estimar el flujo de CO_2 (Ruc en $g\ CO_2\ m^{-2}\ h^{-1}$) usando el volumen de la cámara de respiración (V_d en m^3), los 10 últimos valores (C_1 y C_{10}) de la tasa de incremento de CO_2 (ppm), sus respectivas unidades de tiempo en segundos (T_1 y T_2), presión atmosférica (P en milibares), temperatura (T en $^{\circ}C$), y el área del tubo (A en m^2). A continuación, se muestra la fórmula empleada:

$$RUC = \frac{C_{10} - C_1}{T_{10} - T_1} \times \frac{P}{1000} \times \frac{273}{T + 273} \times \frac{44.01}{22.41} \times \frac{V_d/A}{1000} \times 3600$$

Donde:

Ruc= Respiración en $g\ CO_2\ m^{-2}\ h^{-1}$

$C_{10} - C_1$ = Concentración de 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°.

Ta= Temperatura del aire (°C)

Vd= Volumen de la cámara de respiración del suelo m^3 ($Vd = \pi r^2 h$)

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

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

Corregir el flujo de CO₂ (RC) agregando el volumen adicional del tubo (Va en m³) al volumen del cámara establecido (Vd).

$$RC = RUCx \frac{A}{Vd} x \frac{Va + Vd}{A}$$

Donde:

Ruc= Respiración en g CO₂ m⁻² h⁻¹

Rc= Respiración corregida.

Va= Volumen adicional (Determinado con la profundidad del tubo de medición).

Vd= Volumen de la cámara de respiración del suelo

3.7.1 Etapas de la Investigación

- Etapa de Gabinete

La fase de gabinete contempló actividades como revisar y recopilar las fuentes documentales, bibliográficas y cartográficas de estudios que ya se hicieron en este tema, así mismo realizar el cronograma de monitoreo de acuerdo la metodología a aplicar y en este caso se tomó la que emplea RAINFOR. y finalmente se organizó cada salida de campo (logística de salida de campo) de acuerdo al cronograma de monitoreo.

- Etapa de Campo

La segunda fase estuvo comprendida netamente a la toma de datos de la respiración total y de componentes de los suelos, de acuerdo con el cronograma de monitoreo elaborado que comprendieron los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre del

2018. Los datos se tomaron mensual de acuerdo a la metodología de monitoreo de carbono en parcelas permanente brindada por RAINFOR. Para tomar estos de datos se utilizará un analizador de gases infrarrojo (PP-Systems EGM-4), una laptop y un termómetro.

Etapas de análisis e interpretación de resultados.

Esta fase del proyecto se centró básicamente en analizar los datos tomados en campo, para ello se utilizará el programa Microsoft Excel, con el cual se descargarán los datos de emisiones de CO_2 de cada monitoreo, luego de ello se calculó las emisiones de CO_2 , y relación con temperatura. Los procedimientos estadísticos que se utilizó para el procesamiento de datos fueron: Medidas de resumen como media y desviación estándar para analizar las emisiones de CO_2 del suelo en forma mensual, gráficos de dispersión y análisis de correlación R para analizar la variación de las emisiones de CO_2 y la temperatura. Asimismo, para el procesamiento de los datos se utilizó la aplicación Excel y el ArcGis para la ubicación de la zona de estudio.

-La operacionalización de variables se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variable	Valor final		Tipo de variable
Variable 1			
Emisiones de CO2	t/ Ha/Año		Numérica
Variable 2			
Temperatura	°C		Numérica
Variables de caracterización			
Mes	Abril, Setiembre	Mayo...	Categórica nominal

Fuente: Elaboración propia (2018)

- Instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación se utilizaron los siguientes instrumentos para recolección de datos:

GPS

Analizador de gases infrarrojo (PP- Systems EGM- 4)

Sensor de temperatura

- **Técnicas de recolección de datos**

Para la recolección de datos, se utilizará la técnica observacional. (Dextre y Pretel, 2010) y la técnica observacional se vale de los sentidos e instrumentos para realizar las mediciones.

- **Validación de instrumentos**

Antes de realizar las mediciones, los instrumentos fueron calibrados, en un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL). Estos instrumentos son: GPS, Medido infrarrojo de emisiones de CO₂ y termómetro.

3.8 Materiales y Software

Los instrumentos que se utilizaron en la presente investigación se detallan a continuación.

3.8.1 Materiales

Los materiales esenciales que se emplean para este estudio, ya fueron instalados en la parcela permanente de monitoreo de carbono en el año 2013 por el IIAP; pero es necesario considerarlo en esta lista de materiales a emplear en este tipo de estudios; tal como se muestra a continuación:

- 25 argollas de PVC de 10cm de largo y 4" de diámetro (respiración total), los cuales están instalados en el área de estudio en cada sub parcela.
- Libreta de campo
- Lápiz
- Regla
- Cable de transferencia de datos.
- Laptop

3.8.2 Software

- **Programa Microsoft Excel**
- **SPSS**

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

Descripción de cada una de las figuras de los resultados de acuerdo a los meses monitoreados en orden cronológico.

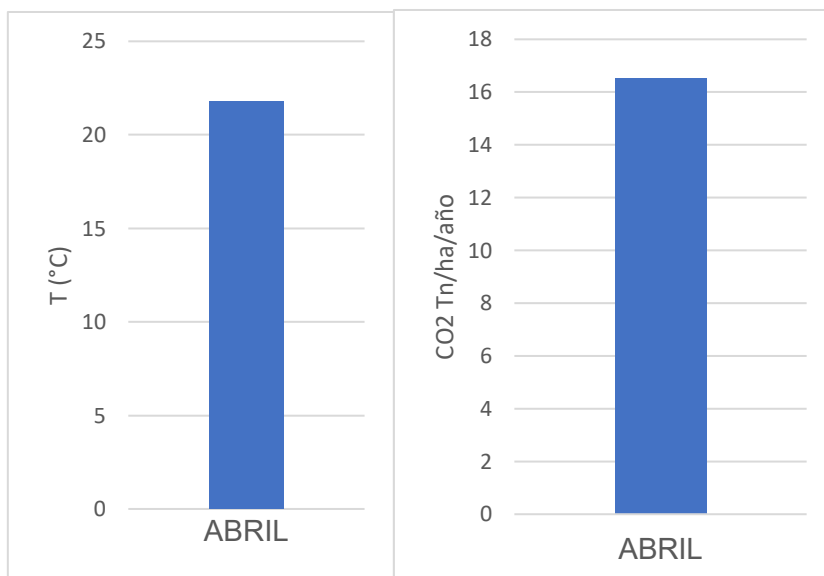


Figura 3. Promedio de R corregida t de CO_2 /Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Abril

Fuente: Elaboración propia 2018.

En la figura 3 se observan los resultados del monitoreo en el mes de abril de 2018, de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) que ascienden a un valor de 16.529 t/ Ha/Año; y de la temperatura ambiental (T (°C) eviro) el valor ascendió a 21.78 grados Celsius.

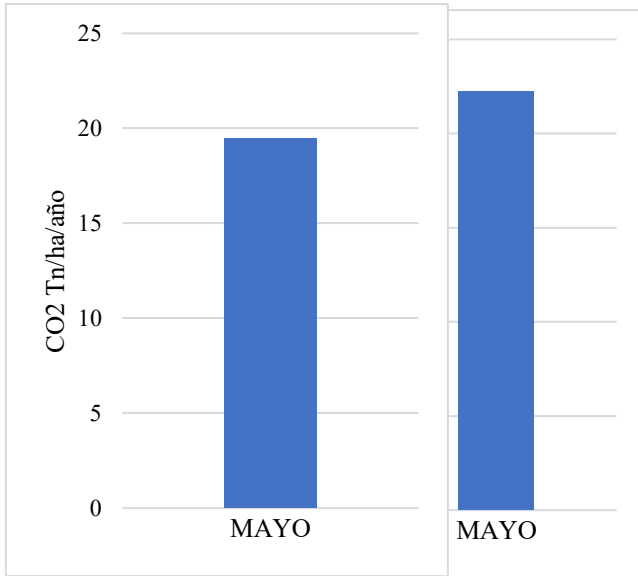


Figura 4. Promedio de R corregida t de CO_2 /Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Mayo

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

En la figura 4 se observan los resultados del monitoreo en el mes de Mayo de 2018, de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) que ascienden a un valor de 19.483 t/ Ha/Año; y de la temperatura ambiental (T (°C) eviro) el valor ascendió a 22.23 grados Celsius.

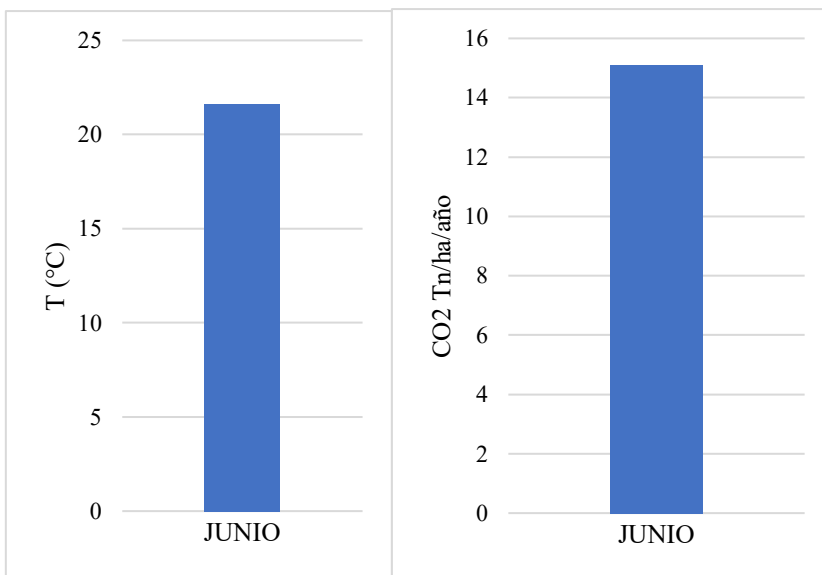


Figura 5. Promedio de R corregida t de CO_2 /Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Junio

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

En la figura 5 se observan los resultados del monitoreo en el mes de junio de 2018, de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) que ascienden a un valor de 15.107 t/ Ha/Año; y de la temperatura ambiental (T (°C) eviro) el valor ascendió a 21.62 grados Celsius.

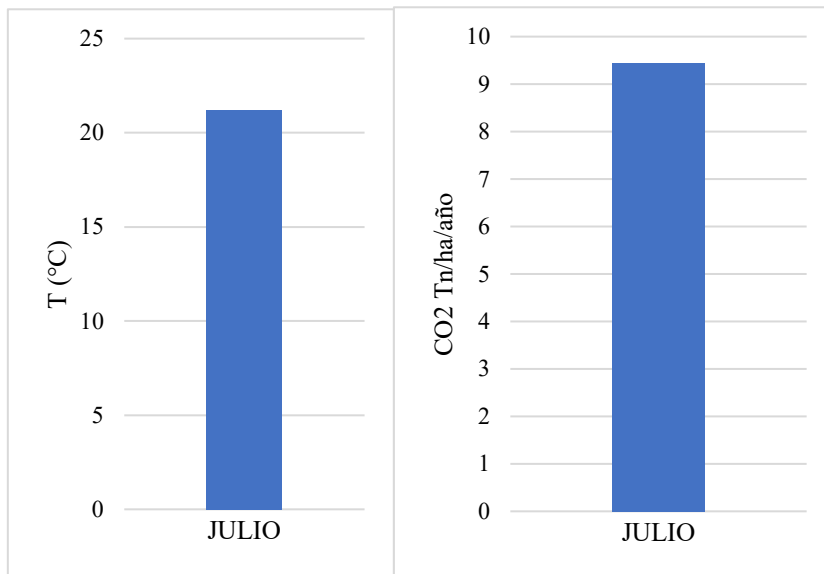


Figura 6. Promedio de R corregida t de CO_2 /Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Julio

Fuente: Elaboración propia 2018.

En la figura 6 se observan los resultados del monitoreo en el mes de Julio de 2018, de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) que ascienden a un valor de 9.444 t/ Ha/Año; y de la temperatura ambiental (T (°C) eviro) el valor ascendió a 21.21 grados Celsius.

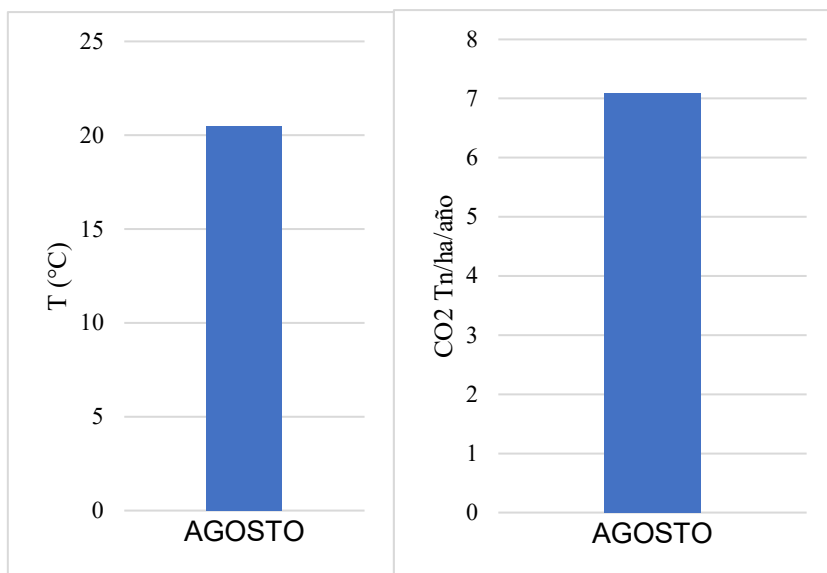


Figura 7. Promedio de R corregida t de CO₂/Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Agosto

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

En la figura 7 se observan los resultados del monitoreo en el mes de Agosto de 2018, de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que ascienden a un valor de 7.089 t/ Ha/Año; y de la temperatura ambiental el valor ascendió (T (°C) eviro) a 20.48 grados Celsius.

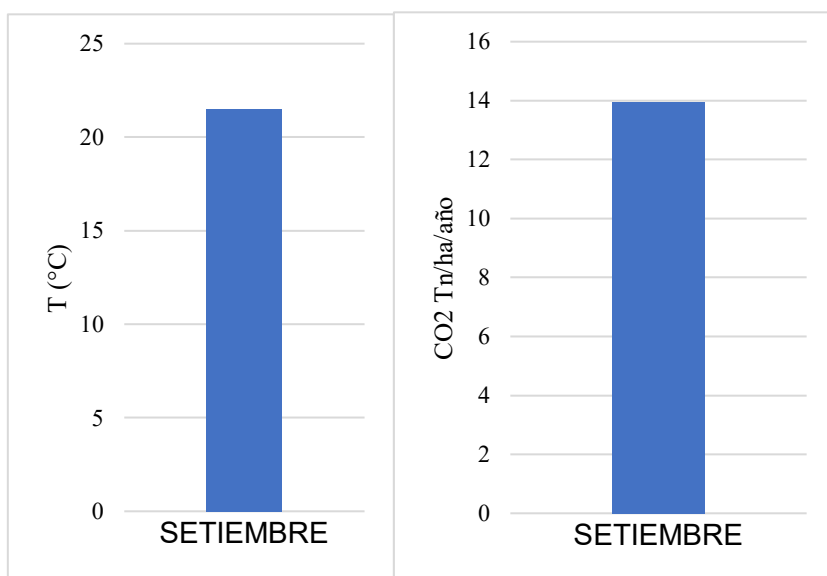


Figura 8. Promedio de R corregida t de CO₂/Ha/Año VS Temperatura ambiental en el Mes de Setiembre

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

En la figura 8 se observan los resultados del monitoreo en el mes de Setiembre de 2018, de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) que ascienden a un valor de 13.962 t/Ha/Año; y de la temperatura ambiental (T (°C) eviro) el valor ascendió a 21.52 grados Celsius.

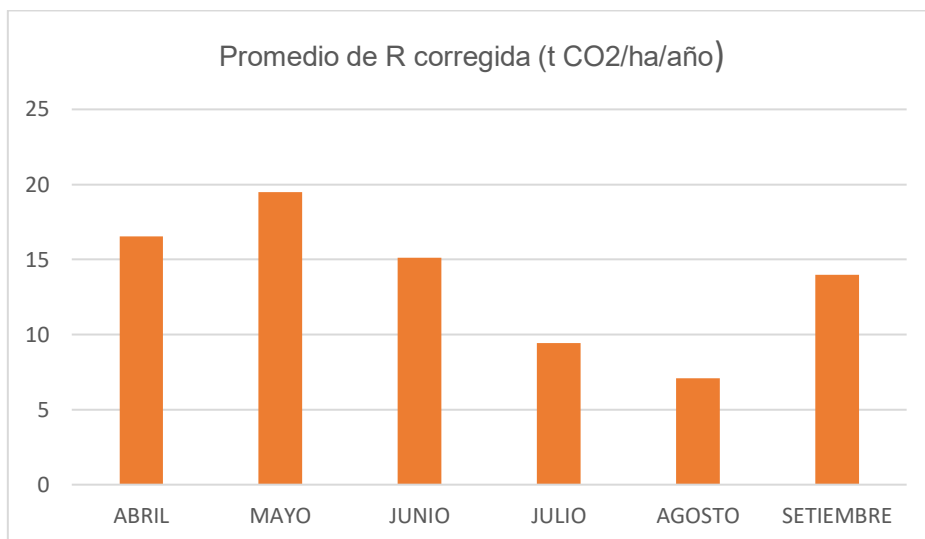


Figura 9. Promedio de R corregida (t de CO_2 /Ha/Año) de Abril a Setiembre

Fuente: Elaboración propia 2018.

En la figura 9 se observa un gráfico de barras de las emisiones de CO_2 de cada uno de los seis meses monitoreados, de Abril a Setiembre del 2018. Donde el mes que presentó mayor valor promedio fue Mayo con 19.483 t CO_2 / Ha/Año y el menor valor promedio fue 7.089363297 t/ Ha/Año.

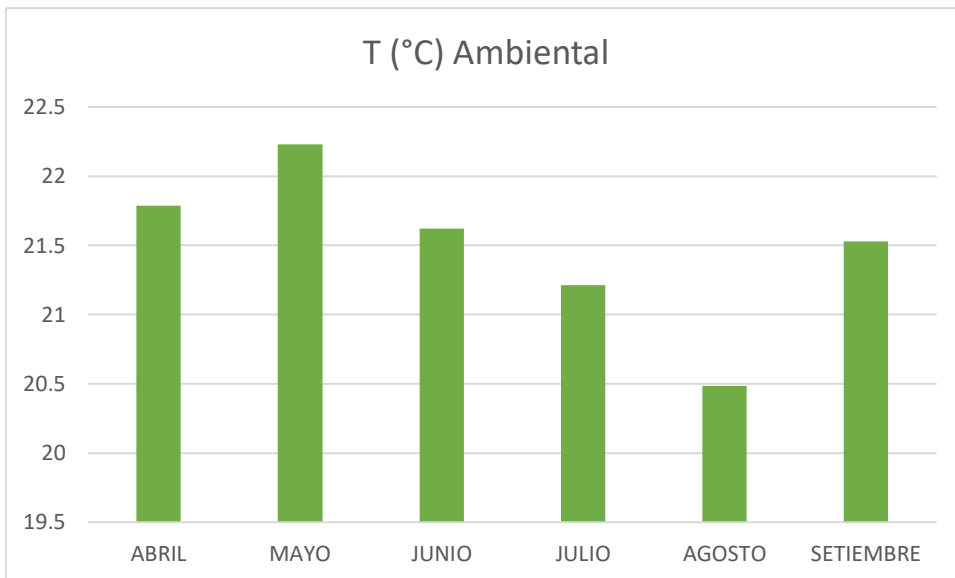


Figura 10. T °C ambiental (Abril a Setiembre)

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

En la figura 10 se observan los valores registrados de temperatura ambiental con el termómetro digital, de Abril a Setiembre 2018. La mayor temperatura ambiental se registró en Mayo con 22.23 °C y la menor temperatura se registró en Agosto con 20.48 °C.

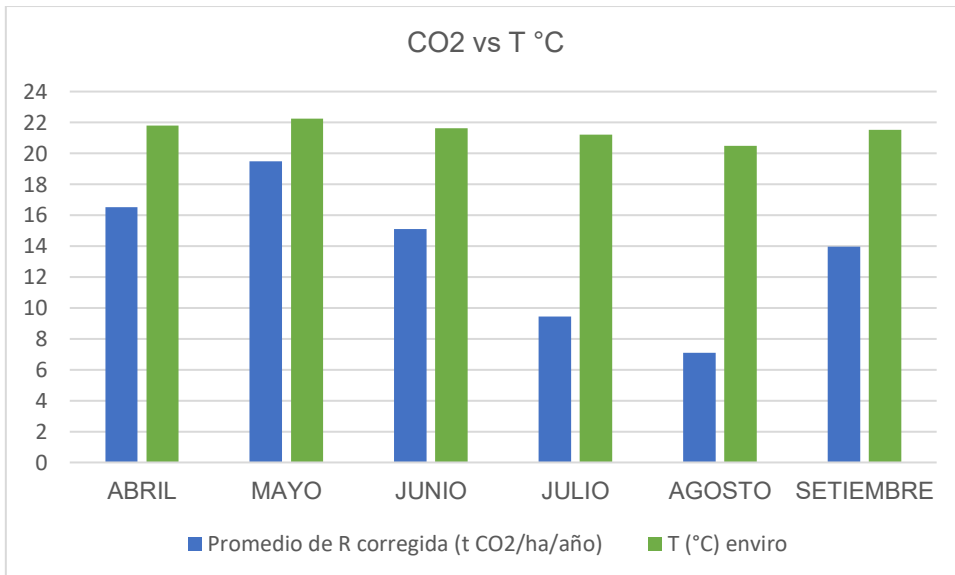


Figura 11. Comparativo de barras de CO₂ VS T °C de Abril a Setiembre

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

En la figura 11 se observa el gráfico de barras comparativo en resumen de las emisiones de CO₂ registrado con sus respectivas temperaturas en cada uno de los seis meses, de

Abril a Setiembre de 2018. El mes de abril ascendieron las emisiones de CO_2 a un valor de 16.529 t/ Ha/Año; y la temperatura ambiental ascendió a 21.78 grados Celsius. En el mes de Mayo de 2018, las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) ascienden a un valor de 19.483 t/ Ha/Año; y la temperatura ambiental ascendió a 22.23 grados Celsius. En el mes de Junio de 2018, las emisiones de CO_2 ascienden a un valor de 15.107 t/ Ha/Año; y la temperatura ambiental ascendió a 21.62 grados Celsius. En el mes de Julio de 2018, las emisiones de CO_2 ascienden a un valor de 9.444 t/ Ha/Año; y la temperatura ambiental ascendió a 21.21 grados Celsius. En el mes de Agosto de 2018, las emisiones de CO_2 que ascienden a un valor de 7.089 t/ Ha/Año; y la temperatura ambiental ascendió a 20.48 grados Celsius. En el mes de Setiembre de 2018, las emisiones de CO_2 ascienden a un valor de 13.962 t/ Ha/Año; y la temperatura ambiental ascendió a 21.52 grados Celsius.

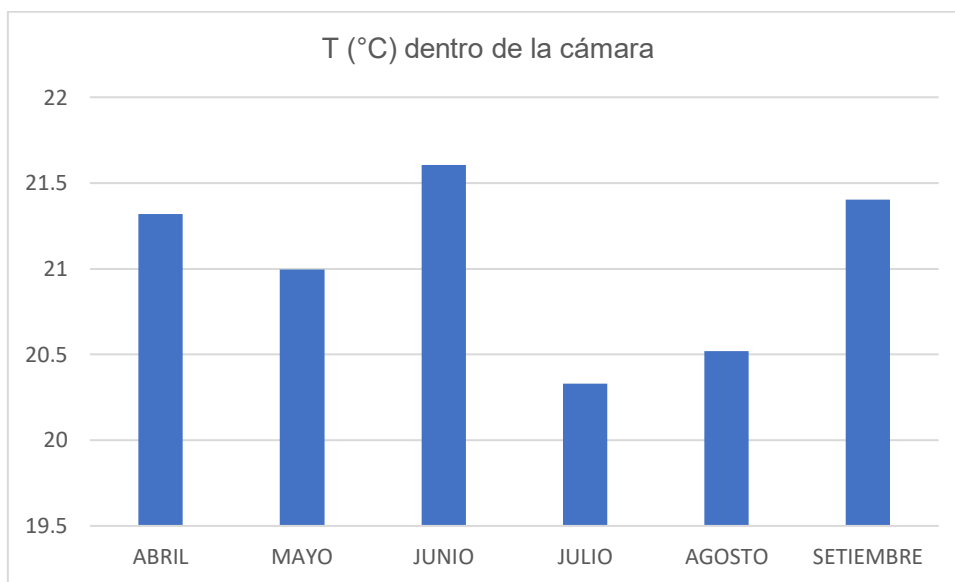


Figura 12. T °C dentro de la cámara (Abril a Septiembre)

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

En la figura 12 se observa el gráfico de barras resumen de los valores de temperatura promedio dentro de la cámara de respiración que se registraron en cada mes de monitoreo de Abril a Setiembre del 2018. El valor registrado en el mes de abril fue 21.31, en el mes

de mayo fue 20.99, en el mes de junio fue 21.60, en el mes de julio fue 20.32, en el mes de agosto fue 20.51 y en el mes de setiembre fue 21.40 grados Celsius.

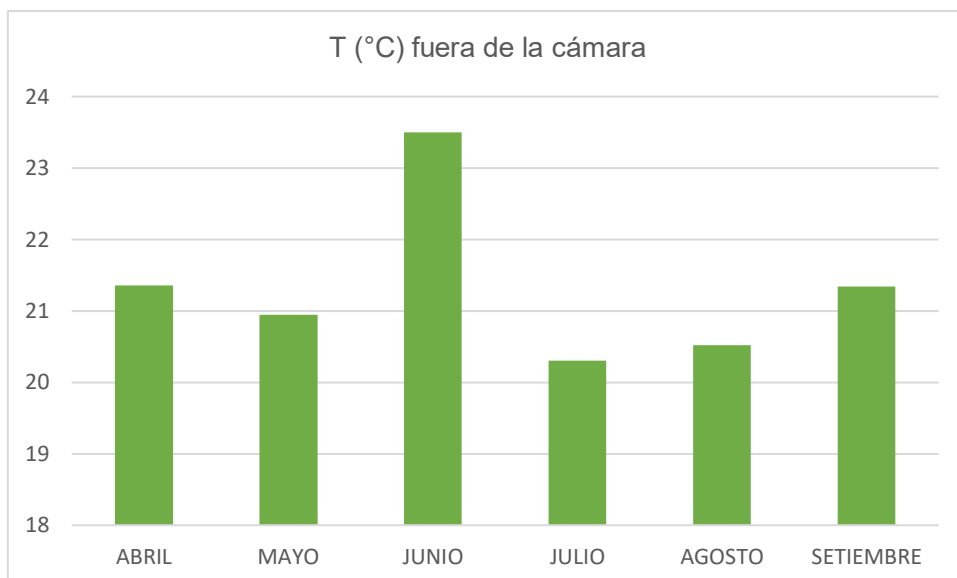


Figura 13. T °C fuera de la cámara (Abril a Septiembre)

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

En la figura 12 se observa el gráfico de barras resumen de los valores de temperatura promedio fuera de la cámara de respiración que se registraron en cada mes de monitoreo de Abril a Setiembre del 2018. El valor registrado en el mes de abril fue 21.35, en el mes de mayo fue 20.94, en el mes de junio fue 21.60, en el mes de julio fue 20.30, en el mes de agosto fue 20.51 y en el mes de setiembre fue 21.34 grados Celsius.

Tabla 3. Tabla Resumen de las variables evaluadas en cada mes.

MESES	Promedio de R corregida (t CO2/ha/año)	T (°C) dentro de cámara	T (°C) fuera de cámara	T (°C) ambiental
ABRIL	16.529	21.318	21.357	21.79
MAYO	19.483	20.996	20.946	22.23
JUNIO	15.107	21.606	23.500	21.62
JULIO	9.444	20.329	20.306	21.21
AGOSTO	7.089	20.518	20.518	20.49
SETIEMBRE	13.962	21.404	21.341	21.53
PROMEDIO	13.602			21.47

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

Tabla resumen de las variables analizadas, con el promedio general proyectado de los valores de los seis meses, del Promedio de R corregida (t CO₂/ha/año) y T (°C) ambiental.

Tabla 4: Tabla de identificación del eje X y Y

	X	Y
	Temperatura	CO ₂
ABRIL	21.79	16.529
MAYO	22.23	19.483
JUNIO	21.62	15.107
JULIO	21.21	9.444
AGOSTO	20.49	7.089
SETIEMBRE	21.53	13.962

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

En la tabla 4 se observa las emisiones registradas de CO₂ por mes y las temperaturas, y el eje que ocupó cada una para los gráficos de dispersión.

Tabla 5. *P valor y Correlación de las variables evaluadas.*

Emisiones_CO2	Correlación de Pearson	1	,971**
	Sig. (bilateral)		0.001
Temperatura_Amb	N	6	6
	Correlación de Pearson	,971**	1
	Sig. (bilateral)	0.001	
	N	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: *Elaboración propia 2018.*

En la tabla 5 se observa que el P valor (Nivel de significancia) es 0.001 realizado con el programa SPSS, que confirma lo que se propone en la hipótesis, sobre la relación entre las emisiones de CO₂ y la temperatura. Se muestra también que la Correlación de Pearson

tiene un valor de 0,971 es decir la correlación es significativa. Y en la siguiente figura 14 se muestra el gráfico de la correlación con el valor de r .

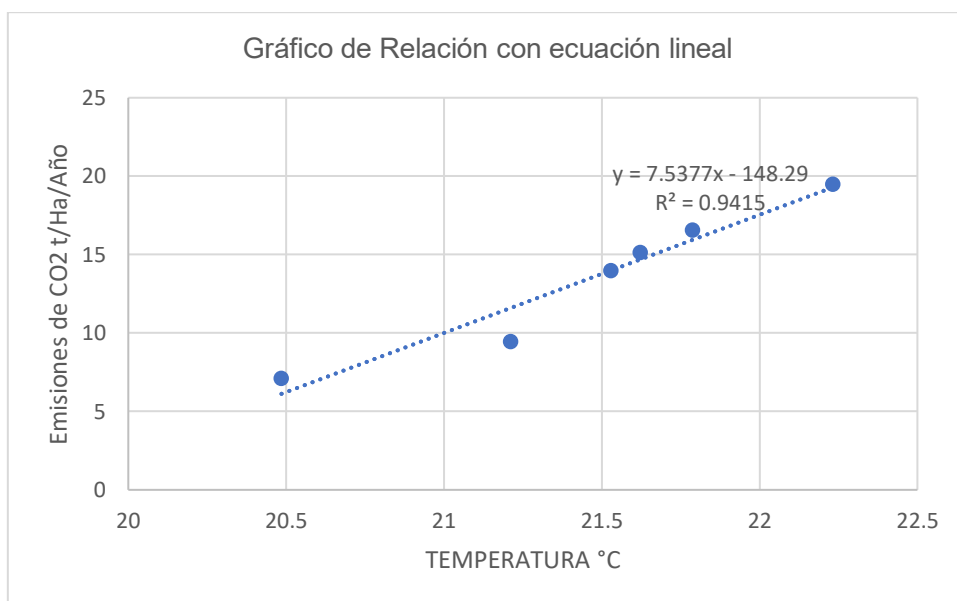


Figura 14. Gráfico de relación con ecuación lineal

Fuente: Elaboración propia 2018.

En la figura 13 se observa el gráfico de la relación entre las emisiones de CO_2 t/ha/Año y las temperaturas ambientales registradas en la PPM durante los meses de Abril a Setiembre. Con una ecuación lineal y con un coeficiente de determinación R^2 igual a 0.9415, el coeficiente de determinación, puede interpretarse como la fracción de la variación total que se explica por la recta de regresión. Por lo tanto el valor de r sería la raíz cuadrada de R^2 , r es el coeficiente de correlación, en este caso r tiene el valor de 0.97. Así, un coeficiente de correlación próximo a ± 1 indica que casi todas las variaciones encontradas en Y son explicadas por la recta (teniendo una buena correlación), mientras que si r es 0, la recta de regresión apenas sirve para explicar las variaciones y la correlación lineal será pobre (Gorgas, Javier; Cardiel, Nicolás; Zamorano, 2011). En este caso se puede observar que el coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación tienen un valor de valor casi 1, es decir existe una relación directa entre la temperatura ambiental y las emisiones de CO_2 en la respiración del suelo en la PPM.

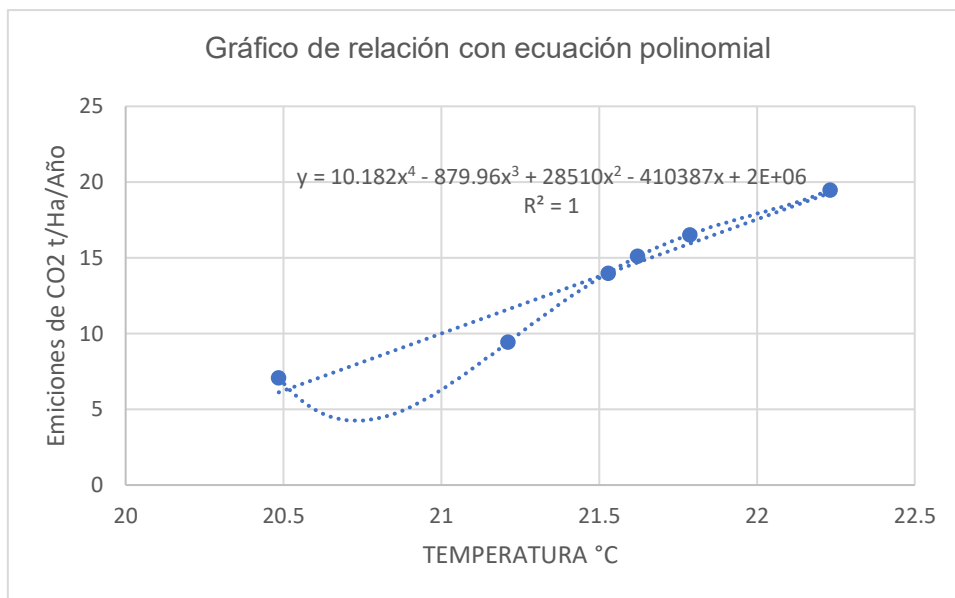


Figura 15. Gráfico de relación con ecuación polinomial

Fuente: Elaboración propia 2018.

En la figura 14 se observa el gráfico de la relación entre las emisiones de CO_2 t/ha/Año y las temperaturas ambientales registradas en la PPM durante los meses de Abril a Setiembre. Con una ecuación polinomial de cuarto grado y con un coeficiente de determinación R^2 igual a 1, el coeficiente de determinación, puede interpretarse como la fracción de la variación total que se explica por la recta de regresión. Por lo tanto el valor de r sería la raíz cuadrada de R^2 , r es el coeficiente de correlación, en este caso r tiene el valor de 1. Ahora tenemos una dependencia funcional entre ambas variables y una correlación positiva, o directa, perfecta. Además, las rectas de regresión (de y sobre x y de x sobre y) coincidirán (E. Martínez, 2005). Por lo tanto con esta ecuación polinomial, el coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación tienen valor de 1, y resulta entonces que la relación es directa y proporcional, ya que se puede observar que a mayor temperatura ambiental existe mayor concentración de emisiones de CO_2 en el suelo de la PPM.

4.2 DISCUSIÓN:

El promedio de las emisiones de CO_2 de los seis meses monitoreados en la PPM dentro del ACR CE categorizado como bosque húmedo premontano fue 13.60262649 t/ha/Año. Presentándose el mayor valor en el mes de Mayo de 2018, las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) ascienden a un valor de 19.48310412 t/ Ha/Año; y la temperatura ambiental ascendió a 22.23 grados Celsius, y el menor valor en el mes de Agosto de 2018, las emisiones de CO_2 que ascienden a un valor de 7.089363297 t/ Ha/Año; y la temperatura ambiental ascendió a 20.48 grados Celsius.

Flores (2016) en cuanto a sus resultados, 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_2 ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente que son valores mayores a los que se presentaron en la PPM ESC - 01. La prueba suma de rangos de Wilcoxon ($p < 0.05$) demostró estadísticamente que hubo diferencia significativa en la respiración de suelo entre las parcelas inundadas (Restinga baja I, Aguajal, Restinga baja II y Plantación de Huacapu) y no inundadas (Plantación de Tornillo, Varillal, Pasto degradado, Pasto activo, Chacra, Purma y Bosque de terraza alta). Los niveles de perturbación antrópica en las parcelas que evaluó mostraron una diferencia decreciente de la respiración del suelo desde parcelas de bosques degradados seguido de bosques en recuperación y bosque primario (62.02 ± 2.08 , 50.94 ± 0.95 y 49.93 ± 1.60 t CO_2 ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente). Aún aquí se puede ver que los valores que presentaron estos seis meses monitoreados en la PPM ESC – 01 son menores que los valores que registró Flores en las diferentes parcelas y tipos de bosque que monitoreó. Las parcelas evaluadas en su investigación presentaron variación de la respiración del suelo entre los meses de agosto del 2014 hasta enero del 2015 ($p < 0.05$).

En la mayoría de las parcelas mostraron una tendencia decreciente durante la época lluviosa. La correlación de la respiración del suelo con la variable temperatura es positiva en casi todos los casos al igual que en este monitoreo en la parcela ESC - 01 que los resultados de las mediciones de CO_2 se correlacionan con las temperaturas ambientales

registradas de forma directa positiva. Los resultados demuestran una predominancia de correlación de la respiración del suelo con la temperatura. La correlación de la respiración del suelo con humedad fue inversamente proporcional para todas las parcelas.

(Davidson et al., 2000 en Chavez, 2008) dice que la temperatura tiene efecto sobre las emisiones de CO_2 del suelo, en latitudes medias, la respiración del suelo aumenta proporcionalmente con la temperatura del suelo siguiendo un patrón exponencial que coincide con lo encontrado en la PPM ESC - 01.

En diversos trabajos se han encontrado relaciones significativas entre la temperatura del suelo y del aire con las emisiones de CO_2 , que pueden elevar exponencialmente las tasas de respiración del suelo. (Russell & Voroney, 1998)

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La emisión total anual proyectada en promedio de los seis meses monitoreados de CO₂ del suelo de la PPM ESC - 01 del bosque húmedo premontano del área de conservación regional Cordillera Escalera fue 13.60262649 t/ha/Año y una temperatura ambiental promedio de 21.27 grados Celsius. Siendo estos valores menores que de otras investigaciones en otra región del Perú. Es decir este bosque presenta estos valores por ser una zona no intervenida por el hombre, sus suelos no han sido alterados para actividades de producción, y por lo tanto este bosque está cumpliendo con su papel de almacén de carbono y regulador de las emisiones de CO₂ al ambiente.

La ecuación polinomial de cuarto grado fue la que mejor mostró la relación de dependencia entre las emisiones y la temperatura ambiental, ya que el valor 1 de r explica la correlación directa positiva y perfecta entre las variables analizadas.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar más investigaciones de monitoreo anual en la PPM ESC – 01 buscando relación de las emisiones con las precipitaciones y humedad para conocer las variaciones estacionales. Además de realizar estos monitoreos en diferentes suelos de la región, no solo bosques, para poder conocer el papel de las diferentes zonas de la región en la emisión de CO₂ al ambiente.

REFERENCIAS

- A Bahar, N. H., Yoko Ishida, F., Weerasinghe, L. K., Guerrieri, R., O, O. S., Bloomfield, K. J., ... Atkin, O. K. (2016). Leaf-level photosynthetic capacity in lowland Amazonian and high-elevation Andean tropical moist forests of Peru. *New Phytologist*, 214, 1002–1018. <https://doi.org/10.1111/nph.14079>
- Chavez, L. (2008). *Emissões do CO2 do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul*. Universidade Federal de Santa Maria.
- da Costa, A. C., Metcalfe, D. B., Doughty, C. E., de Oliveira, A. A., Neto, G. F., da Costa, M. C., ... Paraense Emilio Goeldi, M. (2013). Ecosystem respiration and net primary productivity after 8–10 years of experimental through-fall reduction in an eastern Amazon forest. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.798366>
- Del Aguila-Pasquel, J., Doughty, C. E., Metcalfe, D. B., Silva-Espejo, J. E., Girardin, C. A. J., Chung Gutierrez, J. A., ... Torres, C. (2013). The seasonal cycle of productivity, metabolism and carbon dynamics in a wet aseasonal forest in north- west Amazonia (Iquitos, Peru). *Plant Ecology & Diversity*. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.798365>
- Durango, W., Uribe, L., Henríquez, C., & Mata, R. (2015). Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosquete en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 37–46. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43638524003>
- Flores, G. R. (2016). *Comportamiento de respiración del suelo en ecosistemas con diferentes periodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica en el distrito de Jenaro Herrera- Loreto*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann- Tacna.
- Girardin, C. A. J., Silva Espejob, J. E., Doughty, C. E., Huaraca Huasco, W., Metcalfe, D.

- B., Durand-Baca, L., ... Huasco, W. H. (2013). Productivity and carbon allocation in a tropical montane cloud forest in the Peruvian Andes. *Plant Ecology & Diversity*. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.820222>
- Gobierno Regional de San Martín [GORESAM]. (2007). Plan maestro de Conservación Regional 2007-2011., 114. Retrieved from http://www.regionsanmartin.gob.pe/descargas/transparencia/planes_desarrollo/PM_ACR_CE_Final.pdf
- Gorgas, Javier; Cardiel, Nicolás; Zamorano, J. (2011). *Estadística básica para estudiantes de ciencias* (Departamen). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Guerrero-Ortiz, P., Espinoza, V., Benedicto, G., & Sánchez, M. (2012). Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de *Lupinus*. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 355–362. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/573/57325814007.pdf>
- Hanson, PJ; Edwards, NT; Garden, CT; Andrews, J. (2000). Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A rewiuw of methods and observations. *Biogeochemistry*, 148, 115–146. <https://doi.org/10.1023/A>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Honorio, E., & Baker, T. (2010a). Manual para el monitoreo del ciclo de carbono en bosques amazónicos, 56. <https://doi.org/4267147>
- Honorio, E., & Baker, T. (2010b). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Retrieved from [http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/espa/Documents/Honorio %26 Baker 2010 Manual carbono.pdf](http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/espa/Documents/Honorio%20Baker2010Manualcarbono.pdf)

- Janssens, I. A., Kowalski, A. S., & Ceulemans, R. (2001). Forest floor CO₂ fluxes estimated by eddy covariance and chamber-based model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 106, 61–69. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/f798/1eeff97b01d8f516ef431f88a471009fc442.pdf>
- Luo, Y., & Zhou, X. (2006). *Soil respiration and the Enviroment*.
- Malhi, Y., Farfán Amézquita, F., Doughty, C. E., Silva-Espejo, J. E., Girardin, C. A. J., Metcalfe, D. B., ... Amézquita, F. F. (2013). The productivity, metabolism and carbon cycle of two lowland tropical forest plots in south-western Amazonia, Peru. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.820805>
- Marthews, T., Metcalfe, D., Malhi, Y., Phillips, O., Huaraca, W., Riutta, T., ... Networks, and colleagues from the R. and G. (2012). Measuring tropical forest carbon allocation and cycling: A RAINFOR-GEM Field Manual for Intensive Census Plots. *Manual, Global Ecosystems ...*, 104.
- Martínez, E. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anual Jurídico Y Económico Ecurialense*, XXXVIII, 7.
- Martínez, J., & Fernández, A. (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ed.). Mexico: Instituto Nacional de Ecología. Retrieved from <http://www.iies.unam.mx/wp-content/uploads/2016/03/Victor-Jaramillo-Cambio-Climatico-Una-Vision-desde-Mexico-.pdf>
- Raich, J. W. (1998). Aboveground productivity and soil respiration in three Hawaiian rain forests. *Forest Ecology and Management*, 107, 309–318. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=661049A0FA3C16B18EB298BC2717B470?doi=10.1.1.544.9169&rep=rep1&type=pdf>
- Raich, J. W., & Potter, C. S. (1995). Global patterns of carbon dioxide emissions from soils.

- GLOBAL BIOCHEMICAL CYCLES, 9, 23–36. Retrieved from <http://www.eeob.iastate.edu/faculty/RaichJ/Pubs/RaichPotter1995GBC.pdf>
- 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. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x>
- Ribeiro, A. A. (2014). *Estudo de respiração do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, projeto Esecaflo/LBA*. Universidade Federal Do Oeste Pará.
- Russell, C. A., & Voroney, R. P. (1998). Carbon dioxide efflux from the floor of a boreal aspen forest. I. Relationship to environmental variables and estimates of C respired. *Canadian Journal of Soil Science*, 78(2), 301–310. <https://doi.org/10.4141/S97-054>
- Ryan, M. G., & Law, B. E. (2005). Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. *Biogeochemistry*, 73, 3–27. <https://doi.org/10.1007/s10533-004-5167-7>
- Salimon, C. I. (2003). *Respiração do solo sob florestas e pastagens na Amazônia Sul-Ocidental*, Acre, 97.
- Sotta, E. (1998). *Fluxo de CO₂ entre solo e atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia Central*. Universidade do Amazonas - UA. Retrieved from <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28955/1/Sotta-1998-DissMestrado.pdf>
- Wang, W; Jixun, Guo; Takehisa, O. (2007). Contribution of root to soil respiration and carbon balance in disturbed and undisturbed grassland communities, northeast China. *J. Biosci*, 32(2), 375–384. Retrieved from <http://www.ias.ac.in/article/fulltext/jbsc/032/02/0375-0384>
- Werth, D., & Avissar, R. (2002). The local and global effects of Amazon deforestation David. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 107(3), 391–401. <https://doi.org/10.1029/2001JD000717>

- A Bahar, N. H., Yoko Ishida, F., Weerasinghe, L. K., Guerrieri, R., O, O. S., Bloomfield, K. J., ... Atkin, O. K. (2016). Leaf-level photosynthetic capacity in lowland Amazonian and high-elevation Andean tropical moist forests of Peru. *New Phytologist*, 214, 1002–1018. <https://doi.org/10.1111/nph.14079>
- Chavez, L. (2008). *Emissões do CO2 do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul*. Universidade Federal de Santa Maria.
- da Costa, A. C., Metcalfe, D. B., Doughty, C. E., de Oliveira, A. A., Neto, G. F., da Costa, M. C., ... Paraense Emilio Goeldi, M. (2013). Ecosystem respiration and net primary productivity after 8–10 years of experimental through-fall reduction in an eastern Amazon forest. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.798366>
- Del Aguila-Pasquel, J., Doughty, C. E., Metcalfe, D. B., Silva-Espejo, J. E., Girardin, C. A. J., Chung Gutierrez, J. A., ... Torres, C. (2013). The seasonal cycle of productivity, metabolism and carbon dynamics in a wet aseasonal forest in north- west Amazonia (Iquitos, Peru). *Plant Ecology & Diversity*. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.798365>
- Durango, W., Uribe, L., Henríquez, C., & Mata, R. (2015). Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosquete en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 37–46. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43638524003>
- Flores, G. R. (2016). *Comportamiento de respiración del suelo en ecosistemas con diferentes periodos de inundación anual y niveles de perturbación antrópica en el distrito de Jenaro Herrera- Loreto*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna.
- Girardin, C. A. J., Silva Espejob, J. E., Doughty, C. E., Huaraca Huasco, W., Metcalfe, D. B., Durand-Baca, L., ... Huasco, W. H. (2013). Productivity and carbon allocation in a

- tropical montane cloud forest in the Peruvian Andes. *Plant Ecology & Diversity*.
<https://doi.org/10.1080/17550874.2013.820222>
- Gobierno Regional de San Martín [GORESAM]. (2007). Plan maestro de Conservacion Regional 2007-2011., 114. Retrieved from http://www.regionsanmartin.gob.pe/descargas/transparencia/planes_desarrollo/PM_ACR_CE_Final.pdf
- Gorgas, Javier; Cardiel, Nicolás; Zamorano, J. (2011). *Estadística básica para estudiantes de ciencias* (Departamen). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Guerrero-Ortiz, P., Espinoza, V., Benedicto, G., & Sánchez, M. (2012). Respiración de CO2 como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de *Lupinus*. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 355–362. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/573/57325814007.pdf>
- Hanson, PJ; Edwards, NT; Garden, CT; Andrews, J. (2000). Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A rewiuw of methods and observations. *Biogeochemistry*, 148, 115–146. <https://doi.org/10.1023/A>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Honorio, E., & Baker, T. (2010a). Manual para el monitoreo del ciclo de carbono en bosques amazonicos, 56. <https://doi.org/4267147>
- Honorio, E., & Baker, T. (2010b). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Retrieved from <http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/esp/ Documents/Honorio %26 Baker 2010 Manual carbono.pdf>
- Janssens, I. A., Kowalski, A. S., & Ceulemans, R. (2001). Forest floor CO 2 fluxes estimated

- by eddy covariance and chamber-based model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 106, 61–69. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/f798/1eeff97b01d8f516ef431f88a471009fc442.pdf>
- Luo, Y., & Zhou, X. (2006). *Soil respiration and the Enviroment*.
- Malhi, Y., Farfán Amézquita, F., Doughty, C. E., Silva-Espejo, J. E., Girardin, C. A. J., Metcalfe, D. B., ... Amézquita, F. F. (2013). The productivity, metabolism and carbon cycle of two lowland tropical forest plots in south-western Amazonia, Peru. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.820805>
- Marthews, T., Metcalfe, D., Malhi, Y., Phillips, O., Huaraca, W., Riutta, T., ... Networks, and colleagues from the R. and G. (2012). Measuring tropical forest carbon allocation and cycling: A RAINFOR-GEM Field Manual for Intensive Census Plots. *Manual, Global Ecosystems ...*, 104.
- Martínez, E. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anual Jurídico Y Económico Escorialense*, XXXVIII, 7.
- Martínez, J., & Fernández, A. (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ed.). Mexico: Instituto Nacional de Ecología. Retrieved from <http://www.iies.unam.mx/wp-content/uploads/2016/03/Victor-Jaramillo-Cambio-Climatico-Una-Vision-desde-Mexico-.pdf>
- Raich, J. W. (1998). Aboveground productivity and soil respiration in three Hawaiian rain forests. *Forest Ecology and Management*, 107, 309–318. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=661049A0FA3C16B18EB298BC2717B470?doi=10.1.1.544.9169&rep=rep1&type=pdf>
- Raich, J. W., & Potter, C. S. (1995). Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. *GLOBAL BIOCHEMICAL CYCLES*, 9, 23–36. Retrieved from

<http://www.eeob.iastate.edu/faculty/RaichJ/Pubs/RaichPotter1995GBC.pdf>

- 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. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x>
- Ribeiro, A. A. (2014). *Estudo de respiração do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, projeto Esecafior/LBA*. Universidade Federal Do Oeste Pará.
- Russell, C. A., & Voroney, R. P. (1998). Carbon dioxide efflux from the floor of a boreal aspen forest. I. Relationship to environmental variables and estimates of C respired. *Canadian Journal of Soil Science*, 78(2), 301–310. <https://doi.org/10.4141/S97-054>
- Ryan, M. G., & Law, B. E. (2005). Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. *Biogeochemistry*, 73, 3–27. <https://doi.org/10.1007/s10533-004-5167-7>
- Salimon, C. I. (2003). *Respiração do solo sob florestas e pastagens na Amazônia Sul-Occidental*, Acre, 97.
- Sotta, E. (1998). *Fluxo de CO2 entre solo e atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia Central*. Universidade do Amazonas - UA. Retrieved from <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28955/1/Sotta-1998-DissMestrado.pdf>
- Wang, W; Jixun, Guo; Takehisa, O. (2007). Contribution of root to soil respiration and carbon balance in disturbed and undisturbed grassland communities, northeast China. *J. Biosci*, 32(2), 375–384. Retrieved from <http://www.ias.ac.in/article/fulltext/jbsc/032/02/0375-0384>
- Werth, D., & Avissar, R. (2002). The local and global effects of Amazon deforestation David. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 107(3), 391–401. <https://doi.org/10.1029/2001JD000717>

ANEXOS

Anexo 1. CONSTANCIA IIAP



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto de
Investigaciones de la
Amazonía Peruana - IIAP

CONSTANCIA

El Gerente Regional del IIAP – San Martín, del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP, con RUC N° 20171781648, hace constar que la Bachiller de la Universidad Peruana Unión, MELODY GABRIELA PEÑAHERRERA MORA, identificada con DNI N° 71799094, ha ejecutado su tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental denominado **“Evaluación de las emisiones de CO₂ y su relación con la temperatura ambiental en la parcela ESC-01 en el Área de Conservación Regional Cordillera Escalera San Martín”**, utilizando principalmente el equipo EGM-4 y otros recursos que pertenecen a esta institución; necesarios para el desarrollo de la investigación, durante setiembre 2017 a setiembre 2018. La referida Bachiller, ha demostrado en todo momento dedicación, responsabilidad, y buen desempeño durante su estudio.

Se expide la presente Constancia a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.



Tarapoto, noviembre de 2018

Ing. Luis Alberto Arévalo López
Gerente IIAP-San Martín



OFICINA
Av. José Abelardo Quiñónez km 2.5
Teléfs. (065) 263451 - 263461 - 265515 - 265516
Apto. 784 - Iquitos
E-mail: preside@iiap.org.pe
IQUITOS - PERÚ

OFICINA SAN MARTÍN
Jr. Belén Torres de Tello N° 135
Morales
Teléfs. (042) 524748 / 525979
E-mail: iiapsm@iiap.org.pe
SAN MARTÍN - PERÚ

OFICINA DE COORDINACIÓN
Av. Larco 930, Of. 501
Miraflores
• Telefax: (0051-1) 4460960 - 4445762
E-mail: iiapl@iiap.org.pe
LIMA - PERÚ

Anexo 2. PANEL FOTOGRÁFICO



Analizador de gases infrarrojo EGM-4 estabilizándose para iniciar medición.



Analizador de gases infrarrojo EGM-4 midiendo la concentración de dióxido de carbono en el suelo, en la PPM del ACR CE.



Campana del EGM-4 colocada en la cámara de respiración en plena medición de dióxido de carbono del suelo.



Termómetro midiendo la temperatura ambiental y del suelo.



Tubo de PVC instalado en la PPM en el ACR CE como una de las 25 cámaras de respiración para la medición del dióxido de carbono.



Campana del analizador de gases infrarrojo EGM 4.



Campana y manguera del EGM 4.



Panorama de una de las 25 subparcelas de 20x20m con la cámara de respiración a la vista.



Parte del panorama de la PPM del ACR CE.



Vista de la delimitación de las 25 subparcelas dentro de la PPM en el ACR CE.



Vaciando los datos del EGM a la laptop después de realizar las mediciones.

Anexo 3. COMPENDIO DE VARIABLES MONITOREADAS EN UN MES

PLOT	R corregida (gCO2/m2/hora)	R corregida (t CO2/ha/año)	t C/ha/año	T inside	T outside	T enviro	MES
1	0.45	39.13	10.68	21.2	21.2	22	Abril
1	0.34	29.35	8.01	21.2	21.2	22	Abril
2	0.30	26.31	7.18	21.1	21.1	22.3	Abril
2	0.28	24.12	6.58	21.1	21.1	22.3	Abril
3	0.27	23.94	6.53	21.2	21.2	21.6	Abril
3	0.22	19.15	5.23	21.2	21.2	21.6	Abril
4	0.19	16.97	4.63	21.2	21.2	21.5	Abril
4	0.11	9.70	2.65	21.2	21.2	21.5	Abril
5	0.08	7.08	1.93	21.2	21.3	21.9	Abril
5	0.11	9.43	2.57	21.2	21.3	21.9	Abril
6	0.11	9.99	2.73	21.3	21.1	21.6	Abril
6	0.29	24.97	6.81	21.3	21.1	21.6	Abril
7	0.10	8.92	2.43	21.1	21.6	22.4	Abril
7	0.10	8.92	2.43	21.1	21.6	22.4	Abril
8	0.18	15.38	4.20	21.4	21.2	21.1	Abril
8	0.15	13.19	3.60	21.4	21.2	21.1	Abril
9	0.25	21.50	5.87	21.2	21.5	21.5	Abril
9	0.18	15.64	4.27	21.2	21.5	21.5	Abril
10	0.05	4.63	1.26	21.4	21.4	21.7	Abril
10	0.08	6.94	1.89	21.4	21.4	21.7	Abril
11	0.13	11.61	3.17	21.4	21.4	21.5	Abril
11	0.05	4.64	1.27	21.4	21.4	21.5	Abril
12	0.07	6.29	1.72	21.4	21.2	21.6	Abril
12	0.05	4.19	1.14	21.4	21.2	21.6	Abril
13	0.08	6.88	1.88	21.4	21	21.2	Abril
13	0.05	4.58	1.25	21.4	21	21.2	Abril
14	0.15	13.15	3.59	21.2	21.2	21.9	Abril
14	0.12	10.52	2.87	21.2	21.2	21.9	Abril
15	0.37	32.76	8.94	21	21.1	21.7	Abril
15	0.13	11.70	3.19	21	21.1	21.7	Abril
16	0.05	4.38	1.19	21.2	21.6	22	Abril
16	0.07	6.57	1.79	21.2	21.6	22	Abril
17	0.03	2.25	0.61	21.1	21.6	21.9	Abril
17	0.05	4.50	1.23	21.1	21.6	21.9	Abril
18	0.24	20.79	5.67	21.6	21.4	21.9	Abril
18	0.09	7.80	2.13	21.6	21.4	21.9	Abril
19	0.20	17.14	4.68	21.6	21.3	22.1	Abril
19	0.15	12.86	3.51	21.6	21.3	22.1	Abril
20	0.64	56.33	15.37	21.4	21.5	21.7	Abril
20	0.84	73.58	20.08	21.4	21.5	21.7	Abril

21	0.54	47.51	12.97	21.3	21.7	21.7	Abril
21	0.22	19.02	5.19	21.3	21.7	21.7	Abril
22	0.35	30.67	8.37	21.5	21.5	21.9	Abril
22	0.19	16.51	4.51	21.5	21.5	21.9	Abril
23	0.13	11.24	3.07	21.6	21.6	22	Abril
23	0.05	4.50	1.23	21.6	21.6	22	Abril
24	0.11	9.23	2.52	21.5	21.6	22.1	Abril
24	0.08	6.93	1.89	21.5	21.6	22.1	Abril
25	0.19	16.53	4.51	21.6	21.5	22	Abril