

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



Una Institución Adventista

Tesis
Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Evaluación de las emisiones de CO₂ por la respiración del suelo en un Bosque Húmedo Premontano Tropical el Área de Conservación Regional Cerro Escalera, distrito Banda de Shilcayo – San Martín, 2017

Autor
Hugo David Sandoval Gil

Asesor
Ing. Manuel Toribio Yalico

Tarapoto, diciembre del 2018

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

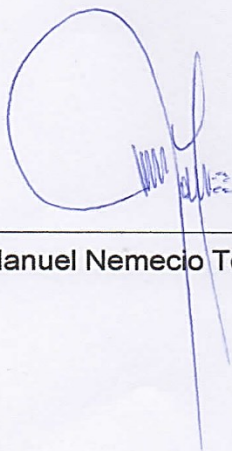
Yo, *Manuel Nemecio Toribio Yalico*, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: ***“Evaluación de las emisiones de CO₂ por la respiración del suelo en un bosque húmedo Premontado Tropical en el Area de Conservación Regional Cerro Escalera, distrito Banda de Shilcayo – San Martín, 2017”*** constituye la memoria que presenta el **Bachiller: Hugo David Sandoval Gil**, para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, que 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 15 días del mes de abril del año 2019



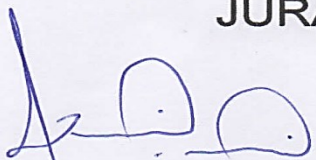
Ing. Manuel Nemecio Toribio Yalico

**Evaluación de las emisiones de CO_2 por la respiración del suelo
en un bosque húmedo Premontado Tropical en el Área de
Conservación Regional Cerro Escalera, distrito Banda
de Shilcayo – San Martín, 2017**

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR



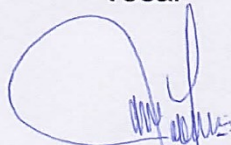
Ing. Jhon Patrick Rios Bartra
Presidente



Ing. Henry Carbajal Mogollon
Secretario



Ing. Carmelino Almeister Villegas
vocal



Ing. Manuel Nemecio Toribio Yalico
asesor

Morales, 18 de diciembre del año 2018

Dedicatoria

A Dios haberme concedido llegar a este logro y haberme dado la convicción de poder lograrlo, a mis padres, hermanos y amigos por la motivación que me brindaron para mi realización profesional.

Agradecimiento

A Dios, por brindarnos la fortaleza que necesitamos para continuar firme en el camino hacia nuestros objetivos.

A nuestros padres por el apoyo moral y estar con nosotros en los momentos difíciles, y demostrarnos que nos brindan su ayuda incondicional.

A los docentes de la Universidad Peruana Unión por sus valiosas enseñanzas.

Índice

Dedicatoria	IV
Agradecimiento	V
Índice de Figuras.....	IX
Índice de Tablas	X
Índice de Anexos.....	XI
Siglas y símbolos usados	XII
Resumen.....	XIII
Abstract	XIV
Capítulo I	15
Introducción	15
1.1 El problema de investigación.....	15
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo general.....	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
1.4 Presuposición filosófica.....	18
Capítulo II.	20
Revisión de Literatura	20
2.1 Fundamentos del objeto de estudio	20
2.1.1 Ciclo del carbono.....	20
2.1.2 Cambio climático	20
2.1.3 Los bosques y el ciclo del carbono en el planeta	21

2.1.4	Respiración del suelo.....	24
2.1.5	Factores que controlan la descomposición de la materia orgánica	25
2.1.6	Definición de términos	29
2.2.	Antecedentes	31
Capítulo III.....		34
Materiales y métodos.....		34
3.1.	Descripción del área de estudio	34
3.1.1.	Aspectos físicos del área de estudio	36
3.1.1.1.	Clima	36
3.1.1.2.	Fisiografía.....	36
3.1.1.3.	Suelos	36
3.2.	Población.....	37
3.3.	Muestra	37
3.4.	Diseño de investigación	37
3.4.1.	Diseño de la parcela de estudio.....	37
3.5.	Formulación de la hipótesis.....	39
3.7.	Operacionalización de variables.....	39
3.8.	Instrumentos de recolección de datos	40
3.9.	Técnicas de recolección de datos y validación de instrumentos	41
3.9.1.	Técnicas de recolección de datos	41
3.9.2.	Validación de instrumentos	41
3.10.	Plan de procesamiento de datos	41
3.11.	Metodología.....	42

3.11.2. Materiales de verificación	43
Capítulo IV.	44
Resultados y discusión	44
4.1 Resultados.....	44
4.1.1 Emisión de CO ₂ del suelo del bosque por meses	44
4.1.2 Emisión de CO ₂ del suelo del bosque por año	52
4.1.3 Relación entre la emisión de CO ₂ y la temperatura del suelo	52
4.2 Discusión.....	53
4.2.1 Emisión de CO ₂	53
4.2.2 Relación entre la emisión de CO ₂ y la temperatura.....	54
Capítulo VI.	56
Conclusiones y recomendaciones	56
5.1 Conclusiones	56
5.2 Recomendaciones	56
Referencias.....	58
Anexos	64

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama del flujo de carbono en un bosque tropical.....	22
Figura 2. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.....	35
Figura 3. Distribución de los collares de respiración	38
<i>Figura 4.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de enero	44
<i>Figura 5.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de febrero.....	45
<i>Figura 6.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de marzo	45
<i>Figura 7.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de abril.....	46
<i>Figura 8.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de mayo.....	47
<i>Figura 9.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de junio.....	47
<i>Figura 10.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de julio	48
<i>Figura 11.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de agosto.....	49
<i>Figura 12.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de setiembre	49
<i>Figura 13.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de octubre	50
<i>Figura 14.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de noviembre	51
<i>Figura 15.</i> Emisiones de CO ₂ para el mes de diciembre.....	51
<i>Figura 16.</i> Relación entre la emisión de CO ₂ y la temperatura del suelo	53

Índice de Tablas

Tabla 1. Coordenadas UTM de los vértices del área de estudio	38
Tabla 2. <i>Operacionalización de variables de la investigación</i>	39
Tabla 3. <i>Emisión de CO₂ del bosque húmedo premontano</i>	52

Índice de Anexos

Anexo 1. Mediciones de emisiones de CO ₂ por meses en mg CO ₂ .m ⁻² .h ⁻¹	65
Anexo 2. Panel fotográfico	66

Siglas y símbolos usados

EPA: Environmental Protection Agency

GORESAM: Gobierno Regional de San Martín

IIPC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

MINAM: Ministerio del Ambiente

RUC: Valor de la emisión de CO₂ corregido

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

USDA: United States Department of Agriculture

CO₂: Dióxido de Carbono

Ton CO₂.ha⁻¹.año⁻¹: Toneladas de CO₂ por hectárea por año

mg CO₂.m⁻².h⁻¹: Miligramos de CO₂ por metro cuadrado por hora

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue determinar la relación entre las emisiones de CO₂ y la temperatura del suelo, en el bosque húmedo premontano del área de conservación regional (ACR) Cordillera Escalera, perteneciente a la provincia de San Martín, departamento del mismo nombre. Para ello se consideró una parcela con una hectárea de superficie y 25 sub parcelas. Asimismo, para el desarrollo de la investigación se seleccionó un diseño no experimental transversal de tipo relacional. Para la medición de las emisiones de CO₂ se utilizó el analizador de gases infrarrojo (IRGA, siglas en inglés), marca EGM-4 y para la determinación de la temperatura se utilizó un sensor de temperatura. La emisión total anual de CO₂ del suelo del bosque húmedo premontano del área de conservación regional Cordillera Escalera fue $56.86 \pm 5.92 \text{ Ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Los meses con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente enero y setiembre con valores de 584.81 y 778.36 mg CO₂·m⁻²·h⁻¹. De igual manera, las parcelas 1 y 2 tuvieron menores emisiones de CO₂ y las de mayor emisión de CO₂ fueron las parcelas 12, 13, 15 y 25. La ecuación del modelo de regresión lineal fue $\text{CO}_2 = 36.603T - 128.87$. Asimismo, el coeficiente determinación (R²) tuvo un valor de 0.1096 y un p-valor de 0,291, no siendo significativo para un nivel crítico del 5%.

Palabras clave: Respiración del suelo, Emisiones de CO₂, Bosque premontano, Actividad microbiana

Abstract

The objective of the present investigation was to determine the relationship between CO₂ emissions and soil temperature in the premontane moist forest of the Cordillera Escalera regional conservation area (ACR), belonging to the province of San Martín, department of the same name. For this, a plot with one hectare of surface and 25 subplots was considered. Also, for the development of the research, a cross-sectional non-experimental design of relational type was selected. For the measurement of CO₂ emissions, the infrared gas analyzer (IRGA), brand EGM-4, was used and a temperature sensor was used to determine the temperature. The total annual emission of CO₂ from the soil of the premontane moist forest of the Cordillera Escalera regional conservation area was $56.86 \pm 5.92 \text{ Ton.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$. The months with the lowest and highest CO₂ emissions were respectively January and September with values of 584.81 and 778.36 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Similarly, plots 1 and 2 had lower CO₂ emissions and those with the highest CO₂ emissions were plots 12, 13, 15 and 25. The equation of the linear regression model was $\text{CO}_2 = 36.603T - 128.87$. Also, the determination coefficient (R^2) had a value of 0.1096 and a p-value of 0.291, not being significant for a critical level of 5%.

Keywords: Soil respiration, CO₂ emissions, Premontane forest, Microbial activity

Capítulo I

Introducción

1.1 El problema de investigación

El Calentamiento Global es en la actualidad uno de los mayores problemas mundiales que preocupa tanto a la comunidad científica, como a los sectores gubernamental, empresarial y social. Este calentamiento se ocasiona debido al aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, como el dióxido de carbono (CO₂) (IIPC, 2001). Estos gases se producen principalmente por la quema de combustibles fósiles y la deforestación. La toma de conciencia sobre el calentamiento global, ha conllevado a la elaboración del protocolo de Kioto. Es así que, desde entonces, los países han estado más dispuestos a comprometerse a reducir las emisiones de gases a nivel nacional y la comunidad científica ha tomado interés en investigar con más empeño los mecanismos que regulan los ciclos de dichos gases en el planeta (Matear y Hirst, 1999; Mitchell, et al., 1995; Vitousek, et al., 1997).

Los bosques tropicales juegan un rol importante en el ciclo del carbono global porque contribuyen a regular la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera y, por lo tanto, la tasa del cambio climático (Baker & Honorio, 2010). El carbono se almacena tanto en la biomasa viva de las plantas como en el suelo en proporciones generalmente de 50:50. Las plantas capturan del CO₂ atmosférico a través de la fotosíntesis convirtiendo este elemento en biomasa aérea en forma de hojas, ramas y tronco, y biomasa subterránea en forma de raíces. Las plantas emiten CO₂ a través del proceso inverso a la fotosíntesis denominado respiración.

Los suelos son depósitos importantes de carbono en la biósfera y juegan también un rol importante en el ciclo del carbono (Ramirez & Moreno, 2008). Los suelos contribuyen a emitir CO₂ a la atmósfera a través de la respiración de los organismos degradadores que viven

en él. La respiración del suelo es la principal fuente de CO₂ liberado a la atmósfera por los ecosistemas terrestres (55 Petagramos C por año) y constituye el segundo mayor flujo de carbono después de la quema de combustibles fósiles donde se emiten más de 500 Pg C año (Raich and Schlesinger 1992; Schlesinger & Andrews, 2000, Adachiet al., 2005).

En vista del creciente interés sobre el papel de los ecosistemas en el ciclo del carbono terrestre y sus evaluaciones para el cambio climático, han aumentado el número de estudios acerca de respiración del suelo en relación con factores ambientales y a través de gradientes bioclimáticas (Mendiara, 2012).

Los estudios muestran que los bosques y sabanas tropicales tienen las más altas tasas de respiración del suelo (Singh y Gupta, 1977; Raich y Schlesinger, 1992; Raich, Potter y Bhagawati, 2002). Es por ello que un incremento en la emisión de CO₂ desde los suelos de estos ecosistemas, en respuesta a fuertes cambios ambientales, también tiene el potencial para incrementar considerablemente los niveles de CO₂ atmosférico y producir una retroalimentación positiva del calentamiento global (Raich y Tufekcioglu, 2000; Fang y Moncrieff, 2001; Raich, Potter y Bhagawati, 2002).

Nuestra amazonia cuenta con una variedad de tipo de bosques tropicales, lo cual lo convierte en un área de interés a estudiar. En la actualidad existen algunas investigaciones respecto a la respiración de suelo en los diferentes tipos de bosques no perturbados tanto en bosques de llanura baja amazónica como en los bosques montanos usando parcelas permanentes. Sin embargo, en la red de parcelas permanentes, los bosques premontanos se encuentran poco representados y estudios de respiración de suelos a altitudes medias no existen.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar las emisiones de CO₂ debido a la respiración del suelo en un Bosque Húmedo Premontano Tropical del Área de Conservación Regional Cerro Escalera, distrito Banda de Shilcayo - San Martín.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las emisiones de CO₂ por la respiración total del suelo, en horario diurno, para periodos mensual y anual.
- Determinar la relación entre las variables temperatura y emisión de CO₂ debido a la respiración total del suelo.
- Determinar la ecuación del modelo de regresión lineal que permitirá predecir la emisión de CO₂, en función de la temperatura.

1.3 Justificación

La respiración del suelo es el segundo contribuyente a las emisiones de CO₂ a la atmósfera Giardina & Ryan, citado por Murcia & Ochoa (2008) afirman que la respiración del suelo se ha convertido en el evento central de los cambios ecológicos globales debido a su papel controversial en los procesos de calentamiento global.

Es por ello que, pequeños incrementos en la respiración del suelo o cambios en los factores que controlan sus tasas, pueden resultar en cambios significativos en la concentración de CO₂ atmosférico y en el balance calórico (Veenendaal et. al., 2004; Kane. et al., 2005). Por ejemplo, en Porce, Colombia, un estudio de la respiración del suelo y sus componentes (respiración de raíces y de microorganismos) en bosques tropicales primarios y secundarios; se obtuvo una variación en la tasa promedio anual de respiración fue 15,91 y 14,03 t C · ha⁻¹ · año⁻¹ en bosque primario y en bosque secundario, respectivamente. La respiración de las raíces representó casi la mitad de la respiración total en ambos tipos de bosque. La variación

estacional de la respiración total estuvo asociada principalmente a las diferencias de humedad del suelo. Los resultados sugieren que desde el suelo de los bosques tropicales se emiten cantidades considerables de carbono hacia la atmósfera, y que factores ambientales como la humedad y la temperatura del suelo, ejercen un control importante sobre las tasas de emisión. De este modo, un incremento en la emisión de CO₂ desde los suelos de estos ecosistemas, en respuesta a los cambios ambientales, puede tener grandes implicaciones en el balance global del carbono.

En el Perú, existen estudios sobre la respiración de los suelos en bosques de llanura bajo y bosques montanos. Sin embargo, existe limitada información sobre las emisiones de CO₂ por la respiración del suelo en bosques premontanos. Los bosques premontanos son importantes por ser ecosistemas de transición, contienen alta diversidad de plantas y son áreas críticas para el refugio de especies de zonas de montañas y zonas bajas.

Finalmente, se propone realizar esta investigación para cubrir una carencia de información referente a las emisiones de CO₂ en el proceso de respiración total, teniendo en cuenta las variables ambientales y características del suelo, de un Bosque Húmedo Premontano Tropical, ubicado en el Área de Conservación Regional Cerro Escalera, distrito Banda de Shilcayo, provincia San Martín, departamento de San Martín – Perú. En el estudio, se aplicó los protocolos estandarizados por el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) como parte de su trabajo con la Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR).

1.4 Presuposición filosófica

Génesis 2: 15, establece “Tomó, pues, Jehová Dios al hombre, y lo puso en el huerto de Edén, para que lo labrara y lo guardase” (RVR 1960). El ser humano es el mayordomo de la creación y debe administrar sabiamente todo lo que Dios le ha conferido. Esto se relaciona con el desarrollo sostenible, el cual promueve uso racional de los recursos para satisfacer las

necesidades actuales sin comprometer lo que requerirán las generaciones futuras. La respiración del suelo es una medida del dióxido de carbono CO_2 liberado por la descomposición de la materia orgánica del suelo. Los altos índices de respiración en el suelo no siempre son mejores, puede indicar un sistema inestable y pérdida de la materia orgánica del suelo debido a la labranza excesiva u otros factores que degradan la salud del suelo. El Creador ha encomendado al ser humano el manejo adecuado de todo cuanto existe, incluyendo al recurso suelo, pues es un elemento fundamental para el desarrollo de la vida en nuestro planeta.

Capítulo II.

Revisión de Literatura

2.1 Fundamentos del objeto de estudio

2.1.1 Ciclo del carbono

El ciclo de carbono está determinado por el almacenamiento y la transferencia entre la atmósfera, biósfera, litósfera y océanos de moléculas constituidas por el elemento carbono (Honorio & Baker, 2010). Tanto el CO₂ como el vapor de agua son elementos importantes en la atmósfera para la regulación de la temperatura del planeta es tal que sin su presencia la temperatura promedio actual del planeta sería aproximadamente 33°C más fría y, por lo tanto, el planeta estaría congelado (Martínes & Fernández, 2004).

Como sucede con todos los elementos, la disponibilidad de C no es infinita en el planeta y, por tanto, el C circula entre la materia orgánica y el ambiente físico-químico de manera constante. El movimiento del C ocurre a diferentes escalas espacio-temporales, que van desde el nivel molecular, pasando por el organismo hasta el global. El C, en su unión molecular con el oxígeno, constituye el bióxido de carbono (CO₂), 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 efecto invernadero (Martínes & Fernández, 2004).

Del mismo modo Bustos, Morales, Cambrón, & Ladesma (2015) mencionan que aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo es carbono, por lo que es uno de los elementos más importantes de la vida.

2.1.2 Cambio climático

El cambio climático es una variación estadística en el estado medio del clima, a lo largo del tiempo que altera la composición de la atmósfera mundial ; ya sea debido a la variabilidad

natural del clima observada durante períodos de tiempo comparable y/o como resultado de una actividad humana (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IIPC], 2002; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2009).

El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de los suelos.

2.1.3 Los bosques y el ciclo del carbono en el planeta

En el ecosistema biosfera terrestre es necesario distinguir entre el carbono almacenado en el ecosistema (árboles, vegetación subsidiaria, suelo y productos obtenidos) expresado en toneladas (o en Gt) por hectárea y el flujo de carbono, que es la corriente de carbono entre las existencias de carbono (contenido) en el ecosistema y la atmósfera.

En el manual de Honorio & Baker (2010) se representa al stock de carbono como todo aquello que se encuentra almacenado en los diferentes componentes (cajas negras), y los flujos son todos aquellos procesos que afectan el stock (flechas). Como se puede apreciar en la figura (1).

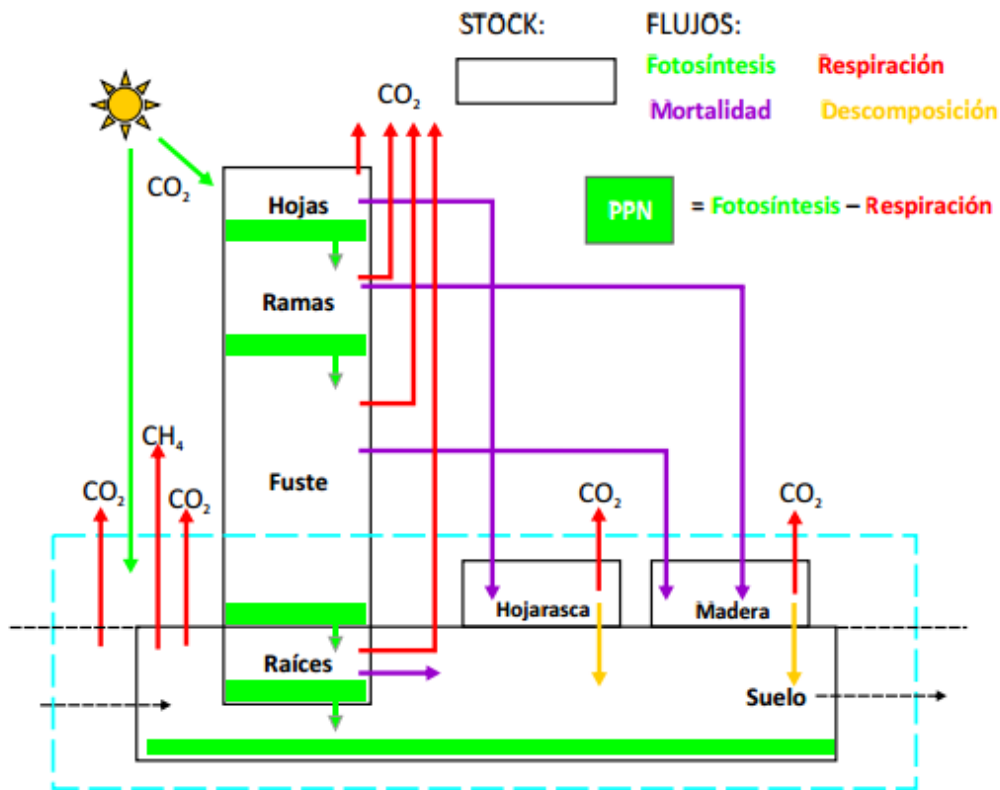


Figura 1. Diagrama del flujo de carbono en un bosque tropical

Fuente: Honorio & Baker (2010)

Los bosques juegan un rol vital en la regulación del equilibrio del ciclo del carbono en el planeta, de acuerdo con Honorio & Baker, 2010 y el Centro de Investigación Forestal Internacional [Center for International Forestry Research] con su siglas en inglés (CIFOR) (como se citó en (Harris, Birjandi, y García, 2011) mencionan que hay dos vías diferentes, por las cuales el bosque interviene en el ciclo del carbono, siendo el stock y el flujo de carbono respectivamente las vías.

Cuando cuantificamos el stock de un bosque, muestreamos: 1) la biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces; 2) la necromasa almacenada en la hojarasca y la madera muerta; y 3) el carbono en la materia orgánica del suelo; un bosque tropical húmedo puede almacenar hasta 430 toneladas de carbono por hectárea en la biomasa

aérea. Cuando cuantificamos los flujos del carbono en el bosque muestreamos: 1) la fotosíntesis de las hojas, estas absorben el CO₂ atmosférico (flujo de entrada); 2) la respiración autotrófica (por ejemplo árbol) y heterotrófica (por ejemplo hojarasca, madera muerta, suelo); 3) la mortalidad de troncos, ramas, hojas y raíces; y 4) la descomposición de la madera y la hojarasca causada por los organismos degradadores, donde el CO₂ retorna a la atmósfera a través de la respiración y mineralización del terreno (flujo de salida) (Honorio & Baker, 2010).

Si entendemos la diferencia entre un stock y un flujo de carbono, podemos considerar el significado de los términos sumidero y fuente de carbono (Honorio & Baker, 2010).

USAID & CIFOR citado por Harris. et al. (2011) y Pardos, (2010) describen que, la expresión “sumidero de carbono” se refiere a la fijación, absorción de carbono, donde se produce un flujo neto de entrada de CO₂ desde la atmósfera al sistema. Para que un área de bosque sea considerada como sumidero de carbono la cantidad almacenada de carbono debe aumentar con el tiempo (cambio en stock es positivo) (Honorio & Baker, 2010). Por otro lado, la expresión “fuente de carbono” significa un flujo en sentido inverso, desde el sistema a la atmósfera, donde el proceso es denominado emisión de CO₂. Su diferencia algebraica se refleja en el balance de carbono. Dicho de otro modo Percy, Jandl, Hall y Lavigne (2003) mencionan que el flujo neto terrestre del C es la diferencia entre la captura (sumideros) y las fuentes. El flujo neto de absorción es la diferencia entre el flujo de entrada y de salida.

Para poder diferenciar los stocks de los flujos de carbono, además de que ya se sabe que cada uno de ellos va indicar la función de un ecosistema como sumidero o fuente será las unidades de medida utilizadas para expresarlas. “Los stocks de carbono se expresan en términos de peso por unidad de área por ejemplo Mg ha⁻¹, mientras 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 por ejemplo Mg ha⁻¹ año⁻¹ (Honorio & Baker, 2010).

El potencial de secuestro de carbono de una masa forestal dependerá de la composición de especies, su estructura y clases de edad y de las características de la estación, incluyendo clima, suelos (Pardos, 2010).

2.1.4 Respiración del suelo

Raich & Schlesinger citados por Ramirez & Moreno (2008) mencionan que durante el proceso de respiración de los suelos se emite CO_2 , producido principalmente por la respiración de las raíces vivas y los organismos heterótrofos que realizan la descomposición de la materia orgánica; es decir, el CO_2 es emitido a la atmósfera en el proceso conocido como respiración del suelo, flujo de CO_2 o evolución del CO_2 en el suelo.

La descomposición terrestre es un proceso de degradación físico-química de la materia orgánica del suelo (MOS) proveniente de restos de plantas, animales y material microbiano. Este proceso causa un descenso en el contenido de detritos conforme los materiales son transformados a CO_2 y nutrientes inorgánicos, que podrán ser utilizados para producción vegetal y microbiológica del sistema (Mendiara, 2012).

La respiración del suelo aumenta exponencialmente al elevarse la temperatura del mismo, y este hecho nos puede conducir a una situación en la que los ecosistemas terrestres pasen de ser sumideros a fuentes de carbono, proceso que puede acelerarse por diversas alteraciones en los mismos (Pardos, 2010).

La respiración del suelo es uno de los parámetros más antiguos para cuantificar la actividad microbiana. Ella representa la oxidación de la materia orgánica hasta la formación del CO_2 por organismos aeróbicos del suelo, que por lo tanto utilizan O_2 como aceptor final de electrones, hasta el CO_2 (Moreira & Siqueira (2006)

Anderson (como se citó en Ramos & Zúñiga, 2008), determinó la respiración de los microorganismos del suelo, mediante la cuantificación de la producción de CO_2 . Dicho de otro

la respiración del suelo es la cuantificación de CO₂ emitida por los microorganismos del suelo en el proceso de descomposición de la materia orgánica y otros.

En concordancia con el enunciado del párrafo anterior Luo & Zuo citado por Peregrina et al. (2009), mencionaron que al respiración de suelo o flujo de CO₂ en condiciones de campo es un indicador integrador de la actividad biológica del suelo, ya que este flujo de CO₂ es producido por la actividad metabólica de los microorganismos del suelo y de las raíces y demás plantas, y además depende de la caracterización físico-químicas del propio suelo como en su contenido en materia orgánica.

2.1.5 Factores que controlan la descomposición de la materia orgánica

Mendiara (2012) menciona que el dióxido de carbono generado en la degradación de la materia orgánica se almacena en el espacio poroso del suelo y se va liberando, en mayor o menor medida, desde la superficie del suelo hacia la atmósfera mediante un proceso de difusión entre zonas del suelo con diferente concentración. Este proceso de descomposición de la MOS está controlado por una serie de factores:

- Condiciones climáticas del suelo: temperatura y humedad
- Propiedades del suelo, como pH y contenido de arcillas.
- Alteraciones del suelo.
- Calidad y cantidad del material orgánico
- Características de la comunidad microbiana.

De acuerdo Raich *et al.* Citado por Mendiara (2012), indicaron que a una escala global, la respiración del suelo está influenciada por las temperaturas y precipitaciones medias anuales, y la interacción entre estas dos variables. Además de ello influencia las características físico-químicas propias del suelo (pH, conductividad eléctrica, porosidad entre otras).

2.1.5.1. Temperatura

La temperatura del suelo es uno de los factores que afectan significativamente en el crecimiento y la supervivencia de los microorganismos edáficos (Ramos & Zúñiga, 2008), tanto así que un incremento de 10° C a partir de temperaturas sub-óptimas, puede duplicar el crecimiento de las bacterias (Thamdrup.*et al.* citado en Reginatto, 2003). Así, a medida que se eleva la temperatura se aceleran las reacciones químicas y enzimáticas, por lo que el crecimiento y el metabolismo de la biomasa serán más rápidos en general. Por tanto, la temperatura es un factor determinante del contenido y dinámica del carbono orgánico del suelo (Mendiara, 2012; Fahey. *et al.* citado por Pardos, 2010)

La materia orgánica disminuye más rápido cuanto más alta es la temperatura, estudios mencionan que muchas bacterias encontradas en el suelo crecen mejor entre 30 a 35°C; por lo que, en climas más calurosos, los suelos suelen tener menos materia orgánica que en los climas más fríos.

De acuerdo a algunos estudios realizados se puede concluir que la temperatura y la humedad del suelo, explican la mayoría de la variación observada en los valores de respiración total y componentes del mismo (Davidson.*et al.*, 1998; Rey.*et al.*, 2002).

2.1.5.2. Humedad del suelo

La relación entre el agua del suelo y los procesos microbiológicos es compleja debido a que las características de los suelos van a afectar de manera importante en los distintos procesos físicos tales como: movimiento de agua, difusión de gases, difusión de solutos, supervivencia y movimiento de la microbiota (Mendiara, 2012). Una de esas características es el contenido de agua que el suelo posea, que es una importante variable para predecir la descomposición de la materia orgánica mediante la flora microbiana existente en el mismo.

Rodrigo *et al.* citado por Mendiara (2012), describieron: de forma general puede indicarse que la actividad metabólica en un suelo va a disminuir cuanto este se seca por debajo de un determinado límite, la sequía del mismo limita la actividad fisiológica de los

microorganismos y la difusión de nutrientes (Harris, 1981; Robertson. *et al.*, 1997) , y pasa lo mismo cuando este tiene un exceso de agua.

La cantidad de materia orgánica en el suelo estará relacionada a la característica que este posea, por lo tanto, la acumulación de carbono (en materia orgánica) es mayor en suelos muy húmedos ya que la descomposición está restringida por altos valores de humedad y por consecuencia la emisión de CO₂ en el fenómeno de respiración de suelo total y componentes es menor. Esto se debe a que los microorganismos descomponedores son más productivos bajo condiciones de humedad intermedias, porque la disponibilidad de oxígeno es suficiente (Mendiara, 2012).

Los suelos anegados (pantanosos) tienen por lo general una menor tasa de respiración total y de componentes debido a que el agua ocupa los espacios porosos y el oxígeno atmosférico no puede penetrar rápidamente (Reginatto, 2003), de igual manera la disminución de la humedad del suelo también afecta adversamente la actividad biológica y respiración de los suelos (Smith. *et al.* citado por Reginatto ,2003).

El contenido óptimo de la humedad para la descomposición de la materia orgánica es de 60 – 80% de la capacidad de retención de humedad del suelo (Reginatto, 2003), la respiración del suelo aumenta a medida que el contenido de humedad del suelo es mayor, dentro de límites (Navarro, 2007).

2.1.5.3. Potencial de hidrógeno

El pH del suelo es un criterio importante para predecir la capacidad del suelo para sustentar reacciones microbiológicas y por ende la respiración total y de componentes del mismo (Reginatto, 2003).

En suelos de condiciones de pH neutro o cercano a esta condición la descomposición de la materia orgánica se ve favorecida (Mendiara, 2012). Se ha observado que la agregación de carbono vegetal a suelos de condiciones ácidas la descomposición es muy lenta,

teniéndose información que al cabo de 5 años aún es posible encontrar hasta 1/5 del material agregado (Espinosa citado por Navarro, 2007),

El aumento en la cantidad de bacterias y en la descomposición de materia orgánica a valores de pH altos, refleja la complejidad de la interacción de los factores, incluyendo cambios en las especies vegetales, y, por tanto, en la cantidad y calidad del mantillo. Pero, independientemente de las especies vegetales y las causas de acidificación del suelo, bajos valores de pH tienden a estar asociados con bajas tasas de descomposición (Mendiara, 2012).

2.1.5.4. Composición de la materia orgánica

La materia orgánica del suelo es un continuo de compuestos heterogéneos con base de carbono, que están formados por la acumulación de materiales de origen animal y vegetal parcial o completamente descompuestos en continuo estado de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente, del conjunto de microorganismos vivos y muertos y de animales pequeños que aún faltan descomponer.

La Materia Orgánica del Suelo contiene la mayor cantidad de C de la superficie de la Tierra (2,157-2,293 Pg; 1Pg equivale a 10^{15} g), el doble del presente en la atmósfera (760 Pg), y de 2 a 3 veces mayor que el de todos los organismos vivientes en el conjunto de ecosistemas terrestres (Batjes, 1996; Prentice et al., 2001). Por lo tanto, la materia orgánica del suelo juega un rol decisivo en el balance global del carbono, el cual es considerado el factor más influyente en el calentamiento global.

Letten. et al. citado por Mendiara (2012) afirman que , tanto la calidad como la edad de la materia orgánica del suelo influyen en la velocidad de la descomposición, expresándose esto en emisión de CO₂ a la atmosfera. Es a partir de ello que cuando se hace una comparación del stock de carbono en suelos bajo uso agrícola y forestal ha mostrado, generalmente, que los suelos forestales contienen más carbono que los suelos agrícolas. Por

lo tanto, cuando disminuye la materia orgánica del suelo, se libera dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera y, cuando aumenta, se absorbe CO₂ de la atmósfera.

2.1.6 Definición de términos

a. Flujos de CO₂

Janssens & Lankreijer citado por Oviedo (2007), define al flujo neto de CO₂ como la variable que se usa para estudiar los intercambios entre ecosistemas terrestres y atmósfera. Se puede descomponer en: flujo debido a la actividad fotosintética que fija el CO₂ atmosférico y flujo debido a la respiración que libera CO₂ a la atmósfera. La respiración del ecosistema se compone de la respiración de la cobertura foliar, del tejido leñoso y de las raíces de los árboles (respiración autotrófica del suelo) así como de la respiración de los microorganismos del suelo (respiración heterotrófica del suelo).

b. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo (MO) se ha definido como una mezcla heterogénea de residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente a partir de los productos de degradación, de los cuerpos de microorganismos vivos y muertos, pequeños animales y sus restos en descomposición (Sánchez, Ruiz, & Ríos, 2005).

c. Atmósfera

Cubierta gaseosa que rodea la Tierra. La atmósfera seca está formada casi en su integridad por nitrógeno (78,1 por ciento del volumen de su mezcla) y por oxígeno (20,9 por ciento del volumen de su mezcla), junto con una serie de pequeñas cantidades de otros gases como argón (0,93 por ciento del volumen de su mezcla), el helio, y gases radiactivos de efecto invernadero como el dióxido de carbono (0,035 por ciento del volumen de su mezcla) y el ozono. Además, la atmósfera contiene vapor de agua, en cantidades variables, pero que es

normalmente de un uno por ciento del volumen de su mezcla. La atmósfera también contiene nubes y aerosoles (IIPC, 2002).

d. Dióxido de carbono

Es un gas que se produce de forma natural, y también como subproducto de la quema de combustibles fósiles y biomasa, cambios en el uso de los suelos y otros procesos industriales. Es el principal gas antropogénico de efecto invernadero que afecta al equilibrio de radiación del planeta (IIPC, 2002).

e. Ciclo del carbono

Ciclo de carbono Término utilizado para describir el flujo de carbono (en varias formas, por ejemplo, el dióxido de carbono) a través de la atmósfera, océanos, biosfera terrestre, y litosfera (IIPC, 2002).

f. Bosques

Un tipo de vegetación dominada por árboles. Muchas definiciones del término bosques se utilizan en todo el mundo, reflejando las amplias diferencias en las condiciones bio-geofísicas, estructuras sociales, y economías (IIPC, 2002).

g. Emisiones

Emisiones En el contexto de cambio climático, se entiende por emisiones el lanzamiento de gases de efecto invernadero y/o sus precursores y aerosoles en la atmósfera en una zona y un período específicos (IIPC, 2002).

Respiración de suelo:

Ella representa la oxidación de la materia orgánica hasta la formación del CO₂ por organismos aeróbicos del suelo, que por lo tanto utilizan O₂ como aceptor final de electrones, hasta el CO₂

2.2. Antecedentes

Los suelos son el mayor reservorio de carbono en los ecosistemas terrestres y a su vez la mayor fuente de CO₂ a la atmósfera producido mediante un proceso denominado respiración del suelo. Estas emisiones de CO₂ están influenciadas por condiciones ambientales, es así, que el incremento en la humedad del suelo podría reducir la actividad microbiana y por lo tanto las emisiones de CO₂ debido a la respiración del suelo. Por esta razón es importante conocer cómo varían las emisiones de CO₂ a través de la respiración del suelo en diferentes ecosistemas y condiciones ambientales. A continuación, se muestran algunas investigaciones realizadas en el transcurso del tiempo, respecto al tema en mención.

Ramirez & Moreno, (2008) en su investigación “Respiración microbiana y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios en Porce, Colombia”; estimaron las emisiones de CO₂ en el proceso de respiración de suelo de un bosque primario y un bosque secundario; aplicando la metodología de cámara cerrada y un analizador de gases infrarrojo. Las mediciones se realizaron en 10 parcelas; 5 parcelas fueron establecidas en cada tipo de bosque, además de ello se midió la temperatura y humedad del suelo. Sus resultados muestran que la tasa promedio anual de emisiones de CO₂ debido a la respiración del suelo en bosques primarios fue de 15,91 CO₂ t.ha⁻¹.año⁻¹ y de 14,03 CO₂ t.ha⁻¹.año⁻¹, para el bosque secundario. Además de ello determinaron que la respiración de las raíces representó casi la mitad de la respiración total en ambos tipos de bosque. La conclusión a la que llegaron es que la variación estacional de la respiración total estuvo asociada principalmente a las diferencias de humedad del suelo. A partir de ello se puede precisar que factores ambientales ejercen un control importante sobre las tasas de emisión de CO₂ a la atmósfera. Es así que un incremento en la emisión de CO₂ por respiración de los suelos de estos ecosistemas, en respuesta a los cambios ambientales, puede tener grandes implicaciones en el balance global del carbono.

Suárez, Tazza, Egoavil, Orellana & Chalco (2008) realizaron una investigación sobre la "Variación estacional y efecto del fuego en la respiración del suelo en bosques de la Amazonía del Perú", cuantificando las emisiones de CO₂ del suelo a la atmósfera debido a la respiración del suelo. Para ello estudiaron tres bosques primarios y un bosque secundario de Oxapampa, departamento de Pasco, Manu, departamento Madre de Dios y Satipo, departamento de Junín; Perú. Las mediciones de la respiración del suelo se realizaron usando el sistema IRGA® (*InfraRed Gas Analyzer*) de cámara cerrada dinámica, que consiste en el compartimiento de colecta del aire que sale del suelo (SRC-1), y el monitor ambiental del gas [EGM-4] (PP Systems, Inc) (Janssens et al. 2000). Se instalaron parcelas en cada bosque; en Satipo se instalaron las nueve parcelas y las mediciones se hicieron varias veces en cada uno de ellas, para el bosque de Oxapampa, ya existía una parcela delimitada de 1 ha, la cual está subdividida en 25 sub parcelas de 20 m x 20 m, así fue posible hacer mediciones en el centro de cada sub parcela, donde previamente se instalaron anillos de 10 cm diámetro. Finalmente, en el Manu, debido a lo complejo de los permisos de quema experimental, se midió de acuerdo a las facilidades del bosque a quemar, haciéndose de manera aleatoria en el área comprendida de la quema. Los resultados obtenidos en esta investigación fueron estacionalidad y también debido a la quema de vegetación. El efecto de la estacionalidad no fue significativo en la estación de Oxapampa, mientras que lo contrario sucedió en Satipo. Esto podría explicarse por el diferente contenido de agua en el suelo y la cobertura boscosa. En cuanto al experimento de la influencia de la quema de vegetación en las emisiones de CO del suelo, los resultados muestran que las emisiones de CO₂ descendieron cuando se realizó la quema del bosque, de 850 mg CO₂m⁻² · h⁻¹ a 40 mg CO₂m⁻² · h⁻¹, esto indica el daño que sufren los microorganismos del suelo con el paso del fuego.

Asimismo, Suarez, Dávila & Retamozo (2010) realizaron el estudio titulado "Almacenamiento de carbono y flujo de CO₂ en los suelos con 2 plantaciones de tres especies

forestales, valle del Mantaro, Perú”. Este estudio se desarrolló en tres zonas dentro del valle del Mantaro: el bosque del fundo “El Porvenir” (*Eucalyptus globulus* Labill), el bosque de la comunidad de Chamiseria (*Pinus radiata* D.Don) y el bosque Dorado - anexo de Paccha (*Polylepis incana* H&B). Se delimitaron parcelas de 50 m x 50 m, 20 m x 20 m y 10 m x 30 m, respectivamente, estableciendo en total 9 parcelas para cada lugar. Se realizó un muestreo de biomasa arbórea (inventario forestal) con la finalidad de cuantificar el almacenamiento de carbono. Las mediciones de respiración de suelo o flujo de CO₂ de los suelos se realizaron utilizando el equipo EGM4 analizador de gas infrarrojo (IRGA); la temperatura y la humedad se midieron de manera independiente. Los valores de la mediana del flujo de CO₂ en el suelo fueron medidos en los meses de la época seca (mayo, junio, julio, agosto y septiembre). Los resultados muestran que el bosque de *Eucalyptus globulus* Labill tiene un flujo de CO₂ de 170 mg.m⁻².h⁻¹, el bosque de *Pinus radiata* tiene un flujo de 165 mg.m⁻².h⁻¹ y el bosque de *Polylepis incana* H&B, de 530 mg.m⁻².h⁻¹.

Capítulo III.

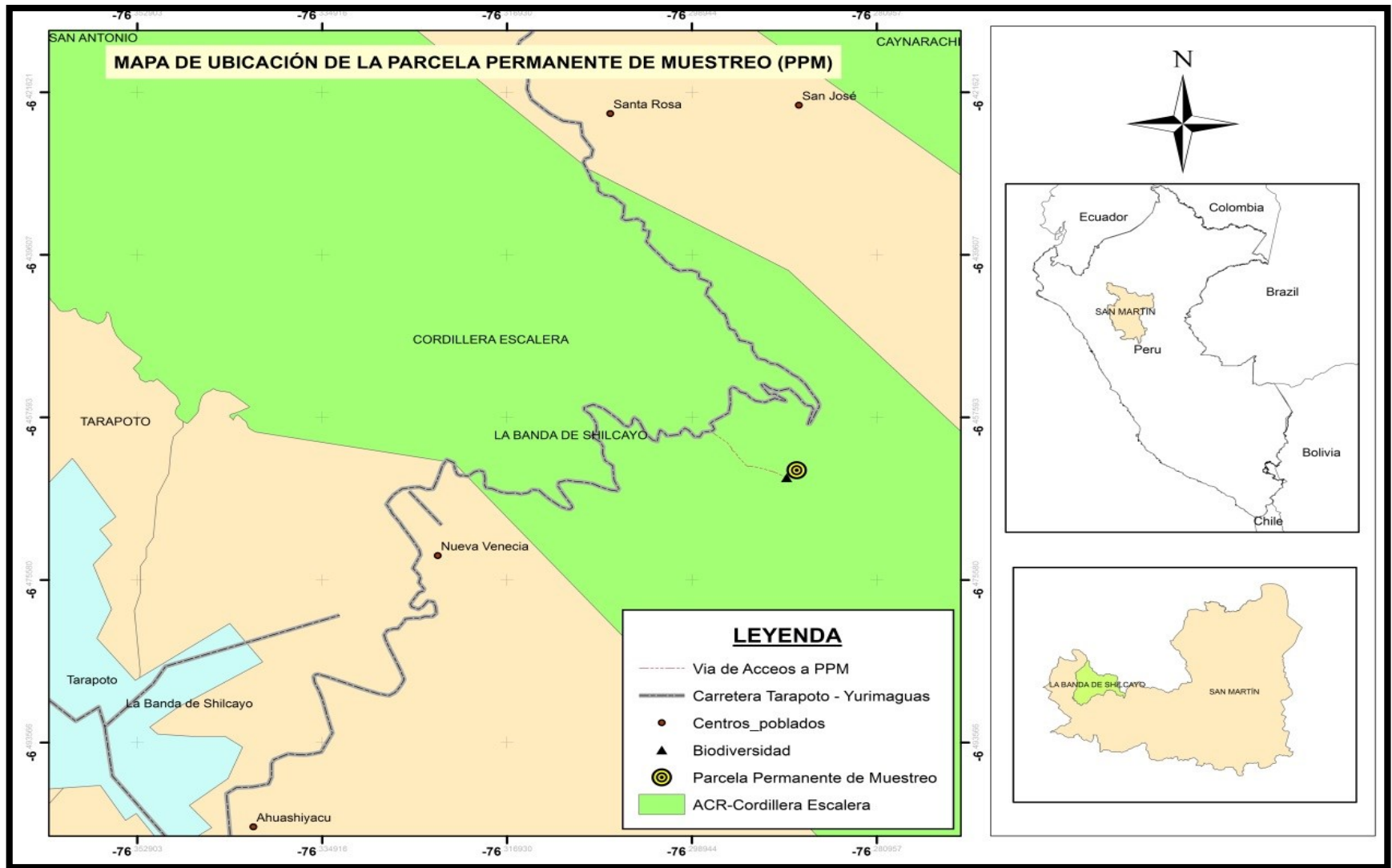
Materiales y métodos

3.1. Descripción del área de estudio

La presente investigación se realizó en la Región de San Martín – Perú, dentro del área de conservación regional Cerro Escalera. El Área de Conservación Regional “Cerro Escalera”, forma parte de la cadena de montañas denominadas “Cahuapanas”. Estas montañas representan la cadena más oriental y septentrional. Siendo la más joven de los Andes Orientales y al estar comprendida entre las montañas del actual Bosque de Protección Alto Mayo hasta el actual Parque Nacional Cordillera Azul. El ACR-CE se ubica en medio de estas dos áreas de conservación y cuenta con una superficie de 149 870 hectáreas. Dentro de su seno nacen importantes ríos que abastecen a la población de las ciudades más trascendentales de la Región San Martín y a su vez alberga una singular diversidad biológica cuya conservación, protección y uso sostenible, constituye una prioridad regional y nacional.

Específicamente, se trabajará en una parcela permanente de muestreo instalada en el área del Centro Académico, Investigación y Ecoturismo “Biodiversidad” de la universidad Nacional de San Martín, con las coordenadas geográficas 06° 34' Latitud Sur, 76° 20' longitud oeste y altitud de 950 m. El sitio está localizado a 20 km de Tarapoto, al margen derecho de la carretera hacia Yurimaguas (Región de Loreto). La parcela fue establecida en un Bosque Húmedo Premontano Tropical.

El estudio se desarrolló en el bosque húmedo premontano del área de conservación regional (ACR) Cordillera Escalera, perteneciente a la provincia de San Martín, departamento del mismo nombre. La ubicación del área de estudio, se observa en la Figura 2.



3.1.1. Aspectos físicos del área de estudio

3.1.1.1. Clima

Según el Gobierno Regional de San Martín (2007), en el Plan Maestro de Área de Conservación Regional- Cordillera Escalera, menciona que en términos de precipitación, dicha área presenta dos zonas: la primera ubicada a la parte oriental de la misma, que tiene un rango de precipitación de 2.500 a 3.500 mm y la segunda en se ubica en la parte occidental presentando precipitaciones que van de 1.500 a 2.000 mm. La primera zona es la más lluviosa por estar más cerca al centro de origen de las masas de aire, y representa el contrafuerte montañoso que se opone al desplazamiento de las masas que provienen del oriente, la cual da como resultado un ambiente muy húmedo, como se puede notar en los bosques cerca al distrito Pongo del Caynarachi.

Por otra parte se muestra la segunda zona, aquí las precipitaciones son menores, aproximadamente en promedio vendrían a ser la mitad de volúmenes de precipitación que se presentan en la primera zona, tal como se puede corroborar con las diferentes estaciones meteorológicas instaladas en las localidad de Tarapoto y distritos aledaños (GORESAM, 2007)

El régimen térmico también es variable. La temperatura bordea los 25 °C a los 1.000 m.s.n.m y a partir de los 1.000 hasta los 2.000 m.s.n.m., la temperatura disminuye hasta los 22 °C en promedio.(GORESAM, 2007).

3.1.1.2. Fisiografía

El Bosque húmedo Premontano Tropical (bh-PT) se caracteriza por su profusión de colinas altas, depresiones, laderas y montañas (GORESAM, 2007).

3.1.1.3. Suelos

Según GORESAM (2007), menciona que los suelos que se encuentran en la parte montañosa del ACR-CE son de tipo cambisoles dísticos. 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, gran cantidad de rocas y piedras, baja fertilidad y elevada salinidad. El área de estudio, y en particular la parcela, presenta suelo arenoso.

3.2. Población

Para el presente estudio, la población está conformada por las emisiones de CO₂ el suelo del bosque premontano del área de conservación regional Cordillera Escalera.

3.3. Muestra

De acuerdo con Supo (2016) el muestreo para estudios explicativos, es según criterio. Se consideró una parcela con un área de 1 hectárea, cada una, pertenecientes al bosque premontano del área de conservación regional Cordillera Escalera.

3.4. Diseño de investigación

Para el desarrollo de la investigación se seleccionó un diseño no experimental Longitudinal y de Panel; debido a que los mismos individuos son medidos en todos los tiempos (Hernández Fernández y Baptista, 2014). La variable independiente está representada por la temperatura del suelo y la variable dependiente está conformada por cantidad de emisiones de CO₂ en (mg CO₂.m⁻².h⁻¹).

3.4.1. Diseño de la parcela de estudio

La parcela de estudio tiene 100 m x 100 m (1 hectárea) y se encuentra dividida en 25 sub-parcelas de 20 m x 20 m (400 m²). Esta parcela fue instalada por el Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) en marzo 2013, y forma parte de la red parcelas permanentes monitoreadas por la Red Amazónica de inventarios forestales (RAINFOR) en el Perú.

Para el experimento de respiración total, la ubicación de los callares es de la siguiente manera:

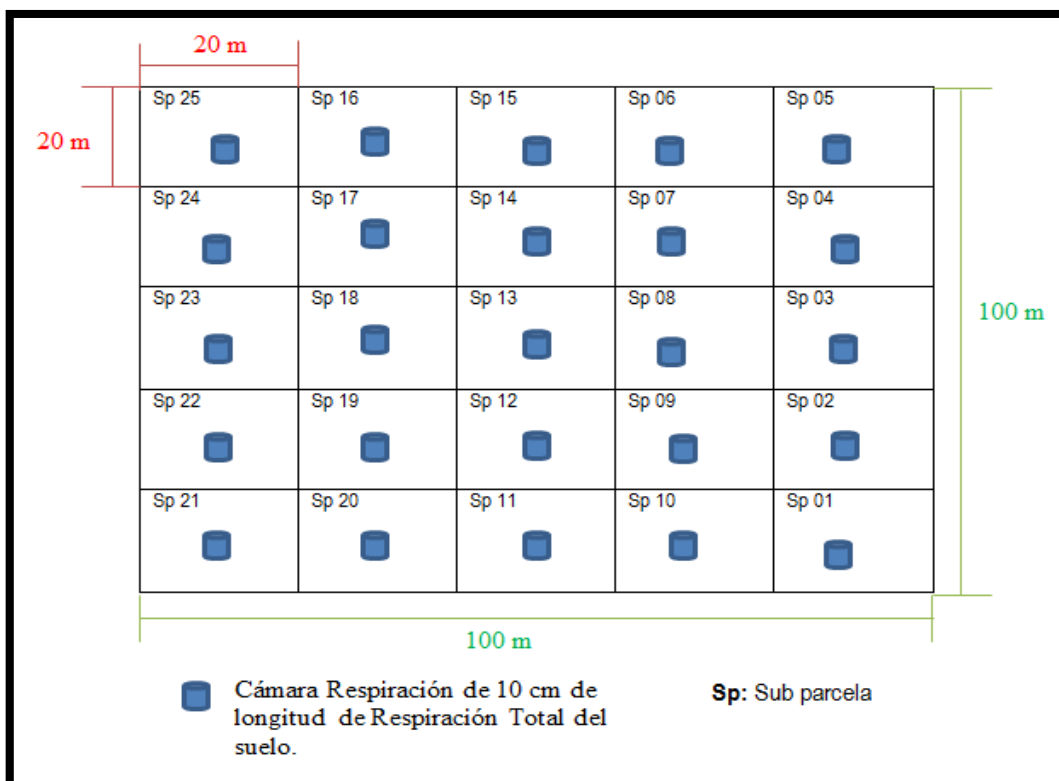


Figura 3. Distribución de los collares de respiración

Fuente: Elaboración propia

Para dar una mejor descripción y ubicación exacta del área de estudio a continuación se muestra una tabla con las coordenadas en UTM de los 4 puntos que delimitan la parcela de estudio.

Tabla 1. Coordenadas UTM de los vértices del área de estudio

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

3.5. Formulación de la hipótesis

3.5.1. Hipótesis nula

$$H_0: \rho = 0$$

Las emisiones de CO₂ del suelo del bosque húmedo premontano del área de conservación regional (ACR) Cordillera Escalera no se relaciona significativamente con la temperatura.

3.5.2. Hipótesis alterna

$$H_0: \rho \neq 0$$

Las emisiones de CO₂ del suelo del bosque húmedo premontano del área de conservación regional (ACR) Cordillera Escalera si se relaciona significativamente con la temperatura.

3.6. Identificación de variables

Las variables que se estudiarán en la presente investigación son:

3.6.1. Variable independiente

La variable independiente está representada la temperatura del suelo del bosque húmedo premontano del área de conservación regional (ACR) Cordillera Escalera.

3.6.2. Variable dependiente

Las emisiones de CO₂ del suelo del bosque húmedo premontano del área de conservación regional (ACR) Cordillera Escalera.

3.7. Operacionalización de variables

La operacionalización de variables se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. *Operacionalización de variables de la investigación*

Variable	Valor final	Tipo de variable
Variable independiente		
Temperatura	°C	Numérica

Variable dependiente		
Emisiones de CO ₂	mg CO ₂ .m ⁻² .h ⁻¹	Numérica
Variables de caracterización		
Mes	Enero, febrero,..., Diciembre	Categoría nominal

Fuente: Elaboración propia (2018)

3.8. Instrumentos de recolección de datos

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

3.8.1. GPS

El GPS es un instrumento que servirá para determinar las coordenadas del área de estudio. Se utilizará un GPS marca Garmin, modelo ETREX 10. Antes de realizar las mediciones este instrumento fue calibrado. Con su receptor GPS de Alta Sensibilidad y predicción de satélites HotFix®, el eTrex®10 localiza tu posición con facilidad incluso en condiciones adversas como bajo el follaje espeso o en cañones profundos, por ello es no sólo el más sencillo de usar sino uno de los más confiables también.

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

De acuerdo con Marthews et al., (2012) el analizador de gases infrarrojo (IRGA, siglas en inglés) mide la tasa de acumulación de CO₂ dentro de un cámara cerrada. En nuestro caso utilizaremos un EGM-4 (PP-Systems) que nos permitirá obtener las concentraciones de CO₂ emitidas por el bosque en el proceso llamado respiración de suelo. Para el funcionamiento de este equipo se utilizó una batería de 12 V quien le proporcionará carga por 12 horas.

Este equipo es ideal para trabajos en campo, por su diseño, pequeño tamaño y ligero peso.

3.8.3. Sensor de temperatura

Es vital conocer la temperatura del suelo porque esta afecta al clima, al crecimiento de las plantas, a la velocidad de descomposición de los desechos orgánicos y a otros procesos químicos, físicos y biológicos que suceden en el suelo.

En esta investigación se utilizó un termómetro digital portátil que nos brindará la temperatura del suelo y ambiental al momento que se realice la medición de las emisiones de CO₂ con el EGM-4.

3.9. Técnicas de recolección de datos y validación de instrumentos

3.9.1. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos, se utilizará las técnicas documental y observacional. La documental consiste en obtener los datos a partir de registros (Dextre y Pretel, 2010) y la técnica observacional se vale de los sentidos e instrumentos para realizar las mediciones.

3.9.2. 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.

3.10. Plan de procesamiento de datos

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 CO₂ del suelo en forma mensual, gráficos de líneas para analizar la variación de las emisiones de CO₂ y la temperatura. Asimismo, para el procesamiento de los datos se utilizó el software SPSS 24, la aplicación Excel y el ArcGis para la ubicación de la zona de estudio.

3.11. Metodología

3.11.1.1. Respiración total

De acuerdo con Honorio & Baker (2010), se realizará 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 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 CO₂ por respiración total del suelo se realizará mensualmente con la ayuda de EGM-4, un termómetro y laptop.

En cada cámara de respiración se realizará 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 deberán ser 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 deberá convertir las unidades de flujos de CO₂ de g CO₂ m⁻²h⁻¹ (unidad 2) a μmol m⁻² s⁻¹ (unidad 1) y escoger aquellas mediciones que tienen un incremento linear en los valores promedio durante el periodo de evaluación realizado por 124 segundos 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.

Unidad 2 = Unidad 1 x 6.312

Se debe estimar el flujo de CO₂ (RUC en g CO₂ m⁻²h⁻¹) usando el volumen de la cámara de respiración (Vd en cm³), los 10 últimos valores (C1 y C10) de la tasa de incremento de CO₂

(ppm), sus respectivas unidades de tiempo en segundos (T1 y T2), presión atmosférica (P en milibares), temperatura (T en °C), y el área del tubo (A en m²). A continuación, se muestra la fórmula a emplear:

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

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

$$RC = RUC \times \frac{A}{V_d} \times \frac{V_a + V_d}{A}$$

3.11.2. Materiales de verificación

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

- Veinticinco 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

Asimismo, se utilizó una computadora laptop portátil que permitirá descargar los datos del EGM-4 (para ello deberá tener instalado el programa PP Systems Transfer Software), almacenarlos para finalmente analizarlos; además de ello se utilizará en el desarrollo de toda la investigación.

Capítulo IV.

Resultados y discusión

4.1 Resultados

4.1.1 Emisión de CO₂ del suelo del bosque por meses

a. Enero

En la Figura 4 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de enero. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 602.10 ± 193.23 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 2 y la 25.

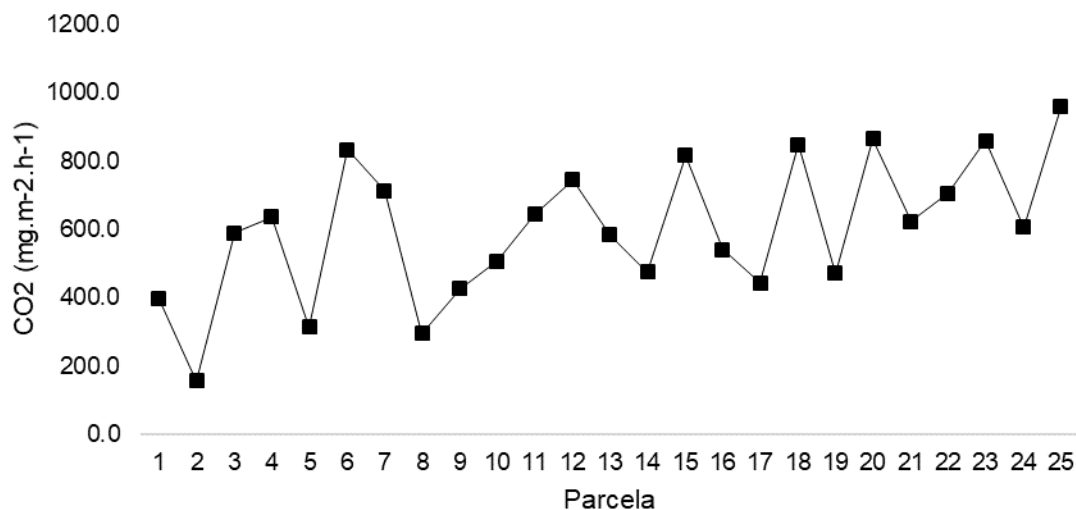


Figura 4. Emisiones de CO₂ para el mes de enero

Fuente: Elaboración propia (2018)

b. Febrero

En la Figura 5 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de febrero. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 592.11 ± 172.54 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 2 y la 25.

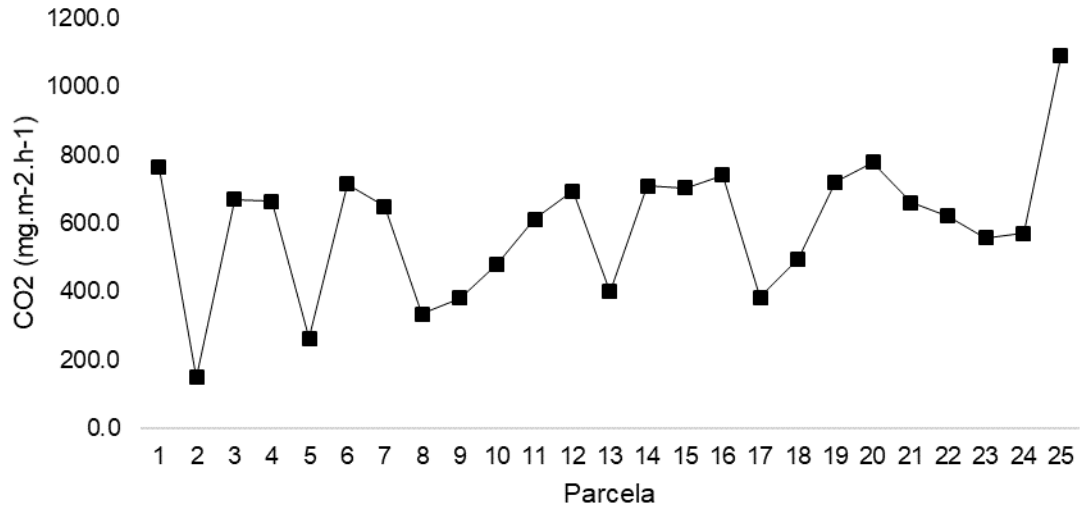


Figura 5. Emisiones de CO₂ para el mes de febrero

Fuente: Elaboración propia (2018)

c. Marzo

En la Figura 6 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de marzo. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 630.43 ± 214.11 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 2 y la 1.

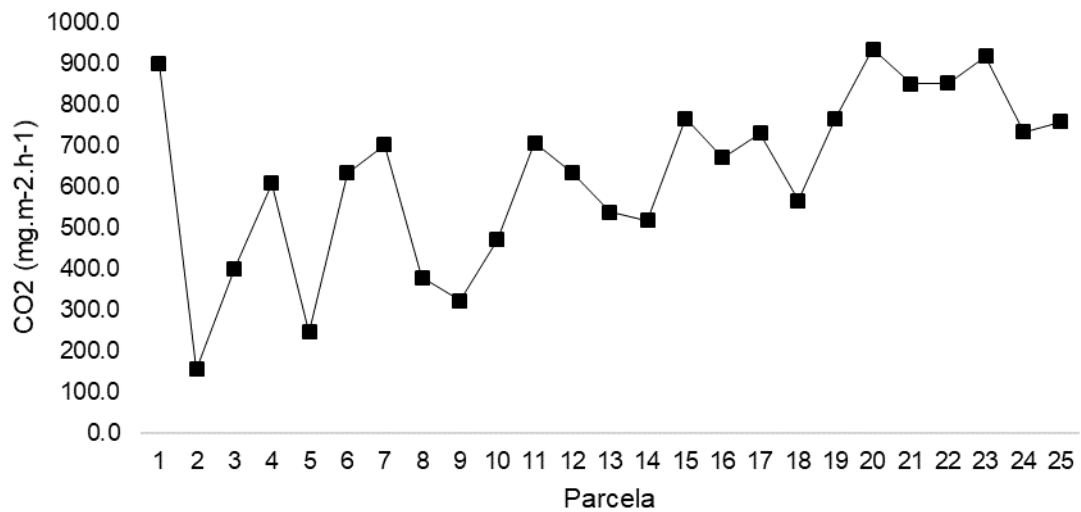


Figura 6. Emisiones de CO₂ para el mes de marzo

Fuente: Elaboración propia (2018)

d. Abril

En la Figura 7 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de abril. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 788.48 ± 308.07 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 2 y la 3.

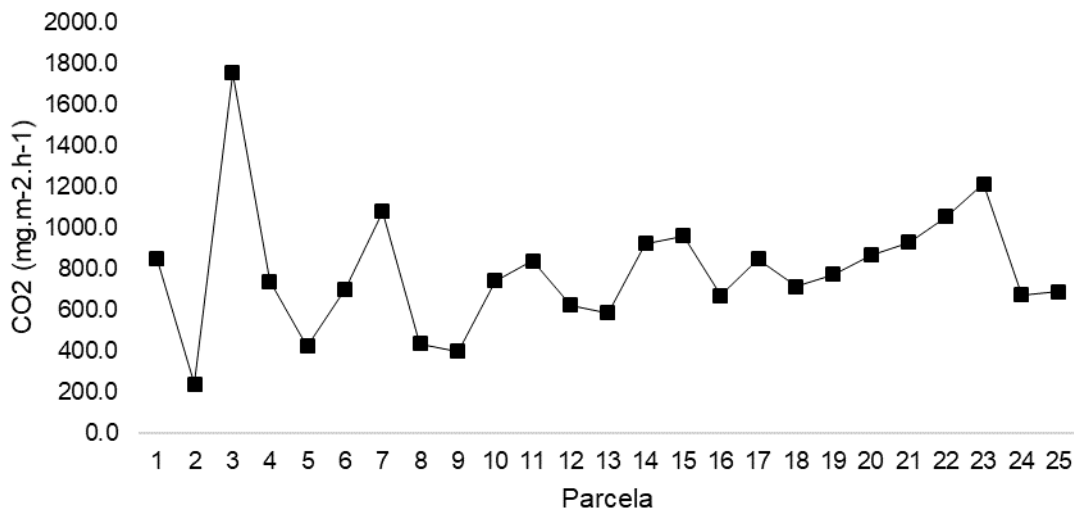


Figura 7. Emisiones de CO₂ para el mes de abril

Fuente: Elaboración propia (2018)

e. Mayo

En la Figura 8 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de mayo. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 694.58 ± 295.77 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 2 y la 15.

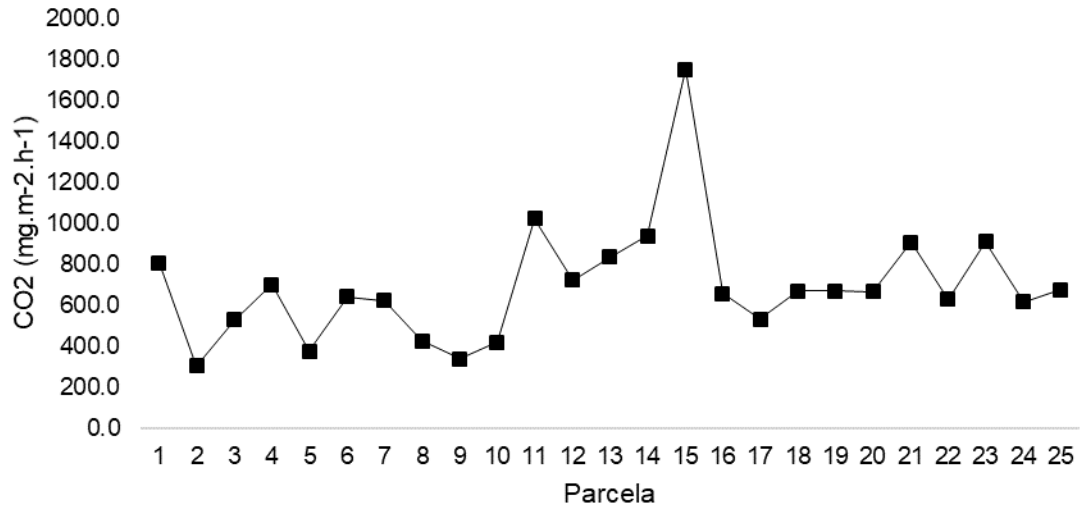


Figura 8. Emisiones de CO₂ para el mes de mayo

Fuente: Elaboración propia (2018)

f. Junio

En la Figura 9 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de junio. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 622.31 ± 201.01 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 2 y la 15.

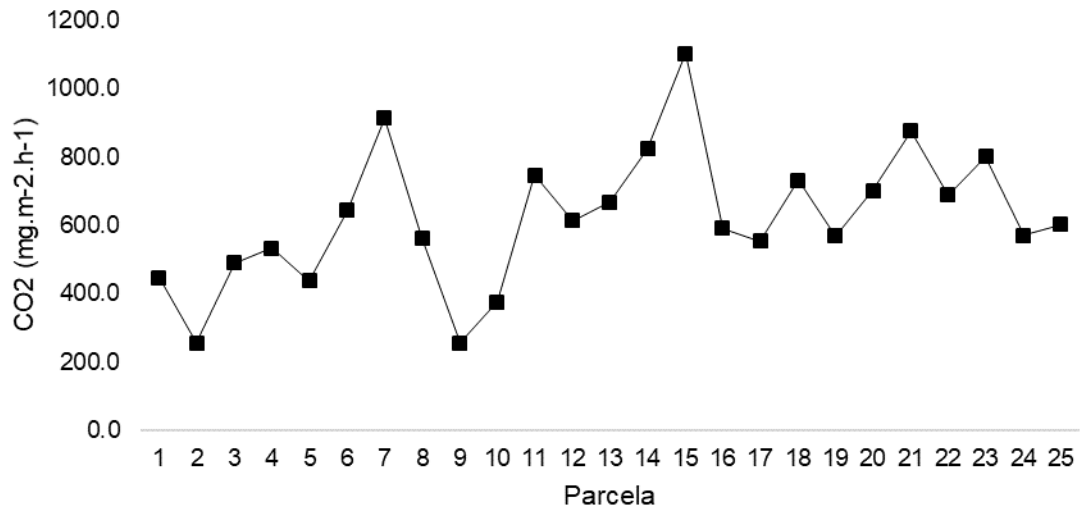


Figura 9. Emisiones de CO₂ para el mes de junio

Fuente: Elaboración propia (2018)

g. Julio

En la Figura 10 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de julio. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 641.11 ± 250.75 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 1 y la 13.

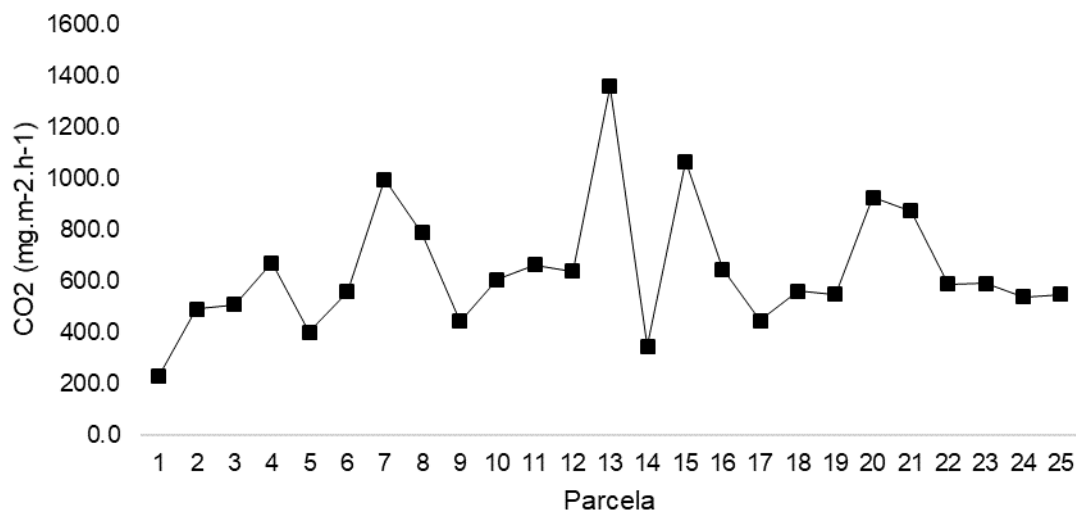


Figura 10. Emisiones de CO₂ para el mes de julio

Fuente: Elaboración propia (2018)

h. Agosto

En la Figura 11 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de agosto. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 601.84 ± 193.61 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 2 y la 12.

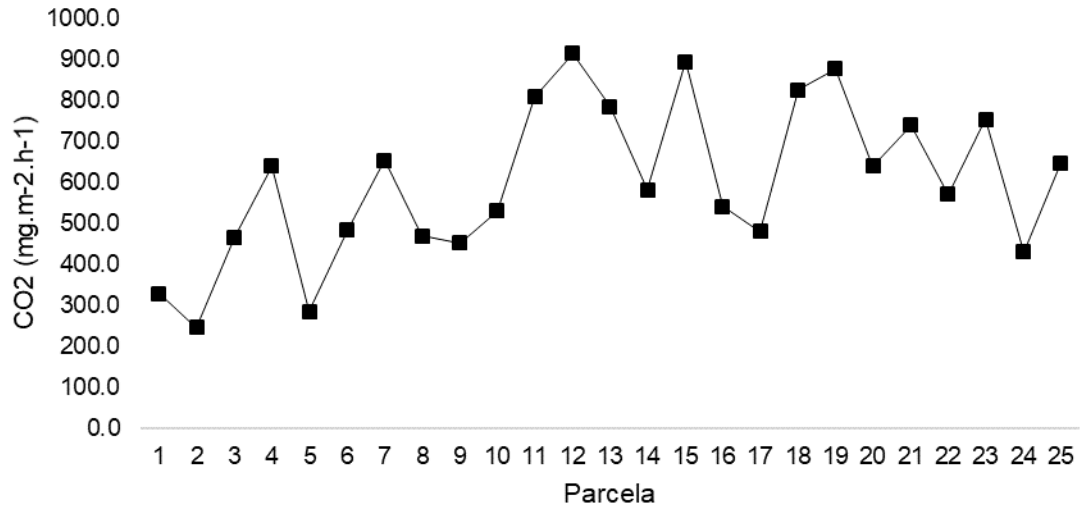


Figura 11. Emisiones de CO₂ para el mes de agosto

Fuente: Elaboración propia (2018)

i. Setiembre

En la Figura 12 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de setiembre. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 773.14 ± 265.87 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 2 y la 25.

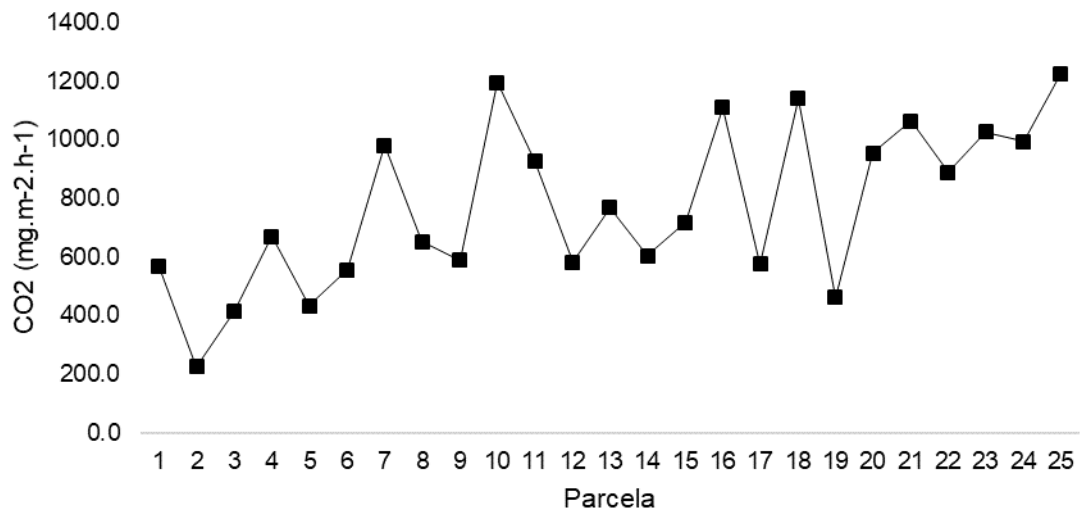


Figura 12. Emisiones de CO₂ para el mes de setiembre

Fuente: Elaboración propia (2018)

j. Octubre

En la Figura 13 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de octubre. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 591.16 ± 177.76 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 2 y la 7.

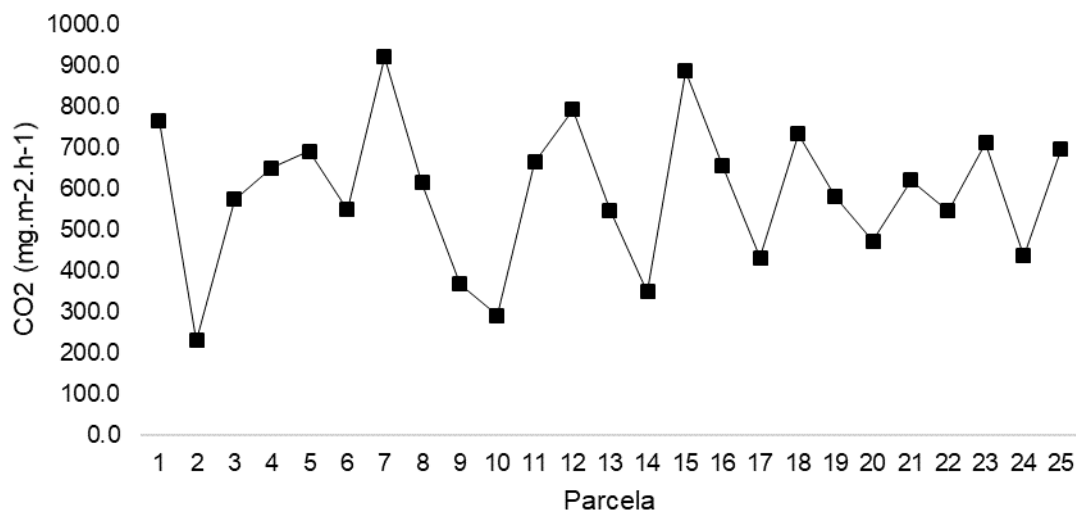


Figura 13. Emisiones de CO₂ para el mes de octubre

Fuente: Elaboración propia (2018)

k. Noviembre

En la Figura 14 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de noviembre. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 605.82 ± 173.86 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 2 y la 15.

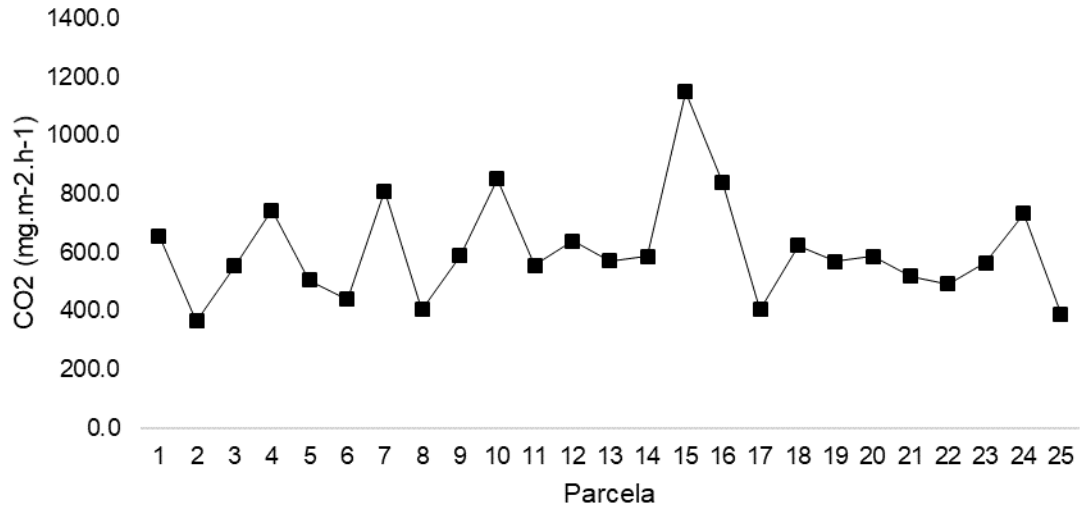


Figura 14. Emisiones de CO₂ para el mes de noviembre

Fuente: Elaboración propia (2018)

I. Diciembre

En la Figura 15 se muestra las emisiones de CO₂ para el mes de diciembre. La cantidad promedio de las emisiones CO₂ de este mes fue 642.48 ± 196.83 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente la 2 y la 7.

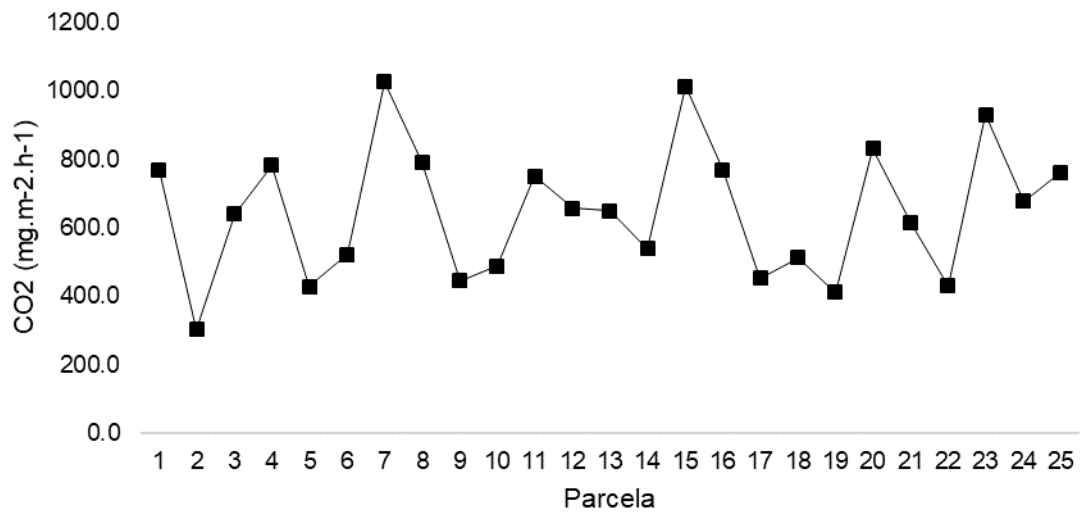


Figura 15. Emisiones de CO₂ para el mes de diciembre

Fuente: Elaboración propia (2018)

4.1.2 Emisión de CO₂ del suelo del bosque por año

En la Tabla 3, se muestra la emisión de CO₂ para el año 2017 del suelo del bosque húmedo premontano del área de conservación regional Cordillera Escalera. La emisión total anual de CO₂ fue 658.07±68.48 mg CO₂.m⁻².h⁻¹ (ó 56.86 ± 5.92 Ton.ha⁻¹.año⁻¹). Los meses con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente enero y setiembre con valores de 584.81 y 778.36 mg CO₂.m⁻².h⁻¹.

Tabla 3. *Emisión de CO₂ del bosque húmedo premontano*

Mes	mg CO ₂ .m ⁻² .h ⁻¹
Enero	584.81
Febrero	608.16
Marzo	646.04
Abril	791.38
Mayo	715.76
Junio	646.03
Julio	652.28
Agosto	610.53
Setiembre	778.36
Octubre	603.74
Noviembre	607.23
Diciembre	652.55
Promedio	658.07±68.48

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Relación entre la emisión de CO₂ y la temperatura del suelo

En la Figura 16, se muestra la relación entre la emisión de CO₂ y la temperatura del suelo, la cual puede sugerir una tendencia lineal positiva, indicando que, a mayor temperatura, mayores emisiones de CO₂. La ecuación del modelo de regresión lineal fue $CO_2 = 36.603T - 128.87$. Asimismo, el coeficiente determinación (R²) tuvo un valor de 0.1096 y un p-valor de 0,291, no siendo significativo para un nivel crítico del 5%.

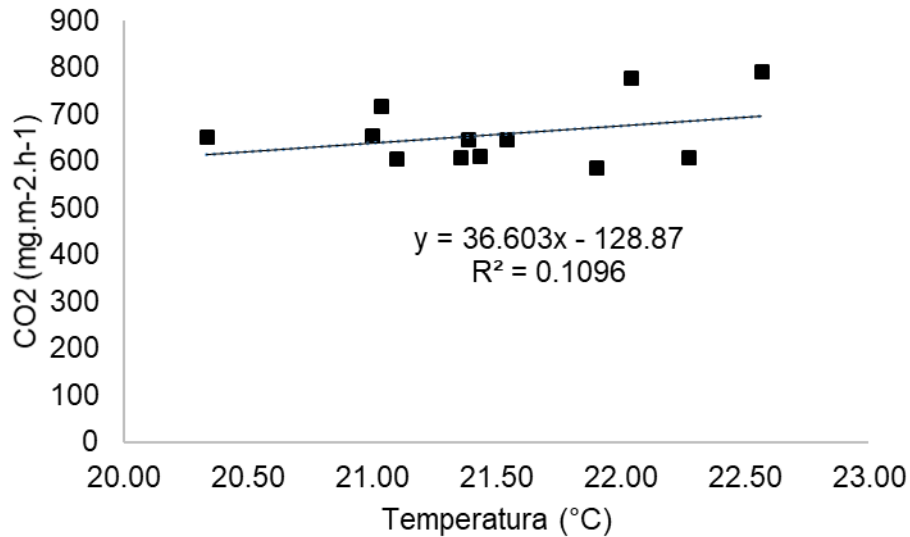


Figura 16. Relación entre la emisión de CO₂ y la temperatura del suelo

Fuente: Elaboración propia

4.2 Discusión

4.2.1 Emisión de CO₂

La emisión total anual de CO₂ del suelo del bosque húmedo premontano del área de conservación regional Cordillera Escalera fue 658.07 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Este valor es similar al encontrado por Ramírez & Moreno (2008), con un valor de respiración total del suelo de un bosque primario de 675.81 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. De igual modo, Fernandes et al. citado por Salimon (2003) mencionan que el rango de emisiones que presentan los bosques intactos es de 150 a 200 mg CO₂.m⁻².h⁻¹, es decir valores bajos de CO₂, se asocian con suelos de bosques donde no se desarrolla actividad antrópica. Según Salimon (2003) los bosques primarios presentan un rango de 365 a 371 mg CO₂.m⁻².h⁻¹ para las emisiones del suelo, debido a que son ecosistemas no alterados.

Por otro lado, Meira (2005) encontró un valor de respiración total del suelo de 1175.33 mg CO₂.m⁻².h⁻¹ para un bosque de transición. Asimismo, Vinhal (2013) encontró valores de 3263.04 mg CO₂.m⁻².h⁻¹, para un agroecosistema con cultivos de pan llevar. Estos valores son

elevados, debido a que son ecosistemas donde se desarrollan diversas actividades antrópicas (Vásquez, Macías & Menjivar, 2013).

De acuerdo con Vásquez, Macías & Menjivar (2013), los suelos con precipitaciones anuales mayores a 1200 mm presentan mayores tasas de respiración que las de los suelos que reciben menor precipitación. Los mismos autores también indican que la mayor tasa de emisión de CO₂ a la atmósfera proviene de suelos con un manejo inadecuado por parte de las presiones antrópicas.

Por otro lado, los meses con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente enero y setiembre con valores de 584.81 y 778.36 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. De acuerdo con el SENAMHI (2018), la estación lluviosa para la provincia de San Martín donde está ubicado el bosque en estudio, comprende los meses de diciembre a mayo, siendo marzo el mes de mayor pluviosidad, mientras que la estación seca comprende los meses de junio a noviembre. Meira (2005) menciona que la precipitación y la humedad del suelo se relacionan inversamente con la emisión de CO₂, debido a que una saturación del suelo impide la liberación de CO₂ para la atmósfera.

4.2.2 Relación entre la emisión de CO₂ y la temperatura

Carneiro, Alves, Silva & Oliveira (2009) indican que la mayor emisión de CO₂, comienza a decrecer cuando se eleva la temperatura del suelo.

Asimismo, de acuerdo con Ramos & Zúñiga (2008) la temperatura óptima para producción de CO₂, fue de 27.5°C. En la Figura 16, se evidencia lo anteriormente descrito, ya que la ecuación del modelo de regresión con ajuste lineal, presenta una pendiente positiva. Pese a que no se registraron temperaturas superiores a 23 °C.

Por el contrario, Ramírez & Moreno (2008) encontraron una relación negativa ($p < 0.05$) entre temperatura y producción de CO₂ para suelo seco de bosque primario, cuando la

temperatura del bosque vario de 20 a 28°C. Esto variación puede deberse a que en la presente investigación no se consideró como factor a la humedad del suelo.

Capítulo VI.

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Los meses con menor y mayor emisión de CO₂ fueron respectivamente enero y setiembre con valores de 584.81 y 778.36 mg CO₂.m⁻².h⁻¹. Asimismo, las parcelas menor emisión de CO₂ fueron la 1 y la 2, y las de mayor producción de CO₂ fueron las parcelas 12, 13, 15 y 25.

La emisión total anual de CO₂ del suelo del bosque húmedo premontano del área de conservación regional Cordillera Escalera fue 56.86 ± 5.92 Ton.ha⁻¹.año⁻¹. Esto quiere decir que el suelo de este bosque aún no está alterado por las actividades antropogénicas, debido a que este valor de respiración total se corresponde con un suelo saludable desde una perspectiva ecosistémica.

La ecuación del modelo de regresión lineal fue $CO_2 = 36.603T - 128.87$. Asimismo, el coeficiente determinación (R²) tuvo un valor de 0.1096 y un p-valor de 0,291, no siendo significativo para un nivel crítico del 5%. Esto indica una relación positiva baja, es decir a mayor temperatura mayor producción total de CO₂ del suelo.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios de respiración del suelo por componentes: Autótrofos y heterótrofos para conocer mejor la dinámica del flujo de CO₂ hacia la atmósfera, y de esta manera conocer la cantidad de emisiones que generan cada componente.

Asimismo, se recomienda realizar estudios de emisiones de CO₂ donde se considere otros factores que puedan influir en la producción de CO₂, como son humedad del suelo, precipitación, estacionalidad, etc.

Referencias

- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. (2009). Integrating climate change into forestry: Mitigation, 1–12.
- Baker, T. R., & Honorio, E. N. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en Bosque Amazónicos.
- Bustos, D., Morales, A., Cambrón, V., & Ladesma, M. (2015). estimación de la capacidad de captura de carbono de la vegetación del parque nacional “el cimatarío, querétaro.”
- Cambrón-Sandoval V. H., Suzán-Azpiri H., Vargas-Hernández J., Sánchez-Vargas N. y Sáenz-Romero C. (2013). Growth strategies and biomass distribution in *Pinus pseudostrobus* under different conditions of competition. *Rev. Fitotec. Mex.*, 36 (1), 71 – 79.
- Carneiro, P., Alves, I., Silva, J. & Oliveira, V. (2009). Cinética da respiração edáfica em dois ambientes distintos no semi-árido da Paraíba, Brasil. *Revista Caatinga*, 22 (3), 52-58. Recuperado el 28 de octubre de 2018 de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237117837009>
- Davidson et al. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 4,165-173.
- Fang, C. and Moncrieff, J.B. (2001). The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biol. Biochem.* 33(2), 155-165.
- Gobierno Regional de San Martín. (2007). Plan maestro de Conservación Regional 2007-2011. Retrieved from http://www.regionsanmartin.gob.pe/descargas/transparencia/planes_desarrollo/PM_A CR_CE_Final.pdf

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2001). Cambio climático 2001: Tercer Informe de síntesis / La base científica. Cambio Climático 2001: Informe de Síntesis, 3–83. [http://doi.org/10.1016/S1353-8020\(09\)70300-1](http://doi.org/10.1016/S1353-8020(09)70300-1)
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2002). Cambio Climático y Biodiversidad. Documento Técnico V IPCC, 284 (2), 93. <http://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2008.01186.x>
- Harris, J., Birjandi, M., & García, A. (2011). Bosques, Agricultura y Clima: Consideraciones económicas y de políticas. Un Módulo de Enseñanza Del GDAE Sobre Temas Sociales y Medioambientales de La Economía, 1–43. Retrieved from http://www.ase.tufts.edu/gdae/education_materials/modules/REDD_Spanish.pdf
- Harris, R., F. (1981). Effect of water potential on microbial growth and activity. En: Parr, J.F., Gardner, W.R., Elliott, L.F. (Eds.) Water potential relations in soil microbiology, ASA-SSSA, Madison, WI, USA, pp 23-95.
- Honorio, E., & Baker, T. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo de carbono en bosques amazónicos, 56. <http://doi.org/4267147>
- Kane, E.S., D.W. Valentine, E.A.G. Schuur, & K. Dutta. (2005). Soil carbon stabilization along climate and stand productivity gradients in black spruce forests of interior Alaska. *Can. J. Forest Res.* 35: 2118- 2119.
- Marthews, T., Metcalfe, D., Malhi, Y., Phillips, O., Huaraca, W., Riutta, T. 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. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Measuring+Tropical+Forest+Carbon+Allocation+and+Cycling:+A+RAINFOR->

GEM+Field+Manual+for+Intensive+Census+Plots#0\nhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Measuring+tropica

- Martínes, J., & Fernández, A. (2004). Cambio climático: una visión desde México. Cambio climático: una visión desde México.
- Matear R. (1999). First Act Climate Change Feedback On the Future Oceanic CO2 Uptake Tellus Series B-Chemical And Physical Meteorology 51 (3): 722-733
- Meira, M. (2005). Estudo da respiração do solo em floresta de transição no sudeste da Amazonia. Dissertação. Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Recuperado el 28 de octubre de 2018 de www.amazoniaambiental.jimdo.com
- Melillo, J. M., P.A. Steudler, J.D. Aber y R.D. (1989). In: M.O. Andreae y D.S. Schimel (Eds.) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. Wiley & Sons, p. 263-280.
- Mendiara, S. (2012). Efecto de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono del suelo a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del Valle del Ebro. Universitat de Vic. Escola Politècnica Superior.
- Ministerio del Ambiente. (2009). Cambio Climático y el Desarrollo Sostenible en el Peru.
- Mitchell J., Johns T. and Gregory J. (1995). Climate Response to Increasing Levels of Greenhouse Gases and Sulfate Aerosols. *Nature* 376 (6540), 501-504
- Moreira, F., & Siqueira, J. (2006). Microbiologia e Biotecnologia do Solo.
- Mosier, A., D. Schimel, D. Valentin, K. Bronson y W. Parton. (1991). Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. *Nature* 350, 330-332.
- Murcia, M., & Ochoa, M. (2008). respiración del suelo en una comunidad sucesional de pastizal del bosque altoandino en la cuenca del río pamplonita, Colombia, 30 (12), 337–353.
- Navarro, J. (2007). Variación del contenido de materia orgánica de suelos volcánicos sometidos a distintos manejos agrícolas.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra.
- Oviedo, L. (2007a). Medición de la Respiración del Suelo en Ecosistemas Mediterráneos Con Sistemas de Cámaras y Analizadores Tipo IRGA.
- Oviedo, L. (2007b). Medición de la Respiración del Suelo en Ecosistemas Mediterráneos Con Sistemas de Cámaras y Analizadores Tipo IRGA Luis Miguel Oviedo Bocanegra, 29.
- Pardos, J. A. (2010). Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Percy, K., Jandl, R., Hall, J., & Lavigne, M. (2003). El papel de los bosques en el ciclo, la captura y el almacenamiento de carbono.
- Peregrina, F., Larrieta, C., Colina, M., Mariscal, I., Matín, I., Martínez, J., & García, E. (2009). Relación entre la respiración del suelo y propiedades indicadoras de la calidad del suelo en un viñedo de La Rioja con manejos alternativos.
- Raich, J. and A. Tufekcioglu. (2000). Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochem.* 48(1), 71-90.
- Raich, J. and W. Schlesinger. (1992). The global carbondioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus, Series B – Chem. Phys. Meteorol.* 44 (2), 81-99.
- Raich, J., C. Potter and D. Bhagawati. (2002). Interannual variability in global soil respiration, 1980-94. *Global Change Biol.*, 8 (8), 802-812.
- Ramírez, A., & Moreno, F. (2008a). respiración microbiana y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios, Colombia), 61(1), 4381- 4393.

- Ramírez, A., & Moreno, F. (2008b). Respiración Microbiana y de Raíces En Suelos De Bosques Tropicales Primarios y Secundarios (Porce, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 61(1), 4381–4393.
- Ramos, E. & Zúñiga, D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología Aplicada*, 7 (1), 1-8. Recuperado el 28 de octubre de 2018 de www.amazoniaambiental.jimdo.com
- Reginatto, L. (2003). Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono. Tesis de grado. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8666>
- Rey, A., Pegoraro, A. (2002). Annual variation in soil respiration and its components under an oak coppice forest in central Italy”. *Global Change Biology*, 851-866
- Robertson, G.P., Klingensmith, K.M., Klung, M.J., Paul, E.A., Crum, J.R., Ellis, B.G. (1997). Soil resources, microbial activity, and primary production across an agricultural ecosystem. *Ecological Applications*, 7, 158-170.
- Salimon, C., I. (2003). Respiração do solo sob florestas e pastagens na Amazonia Sul-Occidental, Acre. Dissertação. Departamento de Agronomia, Universidade de Sao Paulo. Recuperado el 28 de octubre de 2018 de www.amazoniaambiental.jimdo.com
- Sánchez, B., Ruiz, M., & Ríos, M. (2005). Materia Orgánica Y Actividad Biológica Del Suelo En Relación Con La Altitud, En La Cuenca Del Río Maracay, Estado Aragua. *Agronomía Trop*, 55 (4), 507–534.
- Schlesinger, W. and J. Andrews 2000. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochem.* 48(1), 7-20.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). Cambio Climático. Ciencia, evidencia y acciones. Serie ¿Y el medio ambiente?

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2018). Variables meteorológicas de la provincia de San Martín. Recuperado el 28 de octubre de 2018 de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle-turistico&localidad=0023>
- Singh, J. and Gupta S. (1977). Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *Bot. Rev.* 43(4):449-528.
- Smith, T.M., W.P. Cramer, R.K. Dixon, R. Leemans, R.P. Neilson y Solomon A.M. (1993). The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water, Air and Soil Pollution* 70, pp. 3-15
- Suarez, L., & Geofísico, I. (2010). Almacenamiento de carbono y flujo de CO₂ en los suelos con plantaciones de tres especies forestales – Valle del Mantaro.
- Suárez, L; Tazza, C; Egoavil, M; Orellana, D; Chalco, Y. (2008). Variación estacional y efecto del fuego en la respiración del suelo en bosque de la Amazonia del Perú. *Biologist*, 6(1), 22–29.
- Vásquez, J., Macías., F. & Menjivar, J. (2013). Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el departamento de Magdalena, Colombia. *Bioagro*, 25 (3), 175-180. Recuperado el 28 de octubre de 2018 de www.amazoniaambiental.jimdo.com
- Veenendaal, E.M., O. Kolle & J. Lloyd. (2004). Seasonal variation in energy fluxes and carbon dioxide exchange for a broad - leaved semi - arid savanna – Mopane woodland- in Southern Africa. *Global Change Biol.* 10, 318-328.
- Vinhal, I., S. (2013). Matéria orgánica, fluxo de CO₂ e índice Q₁₀ em dois latossolos com texturas contrastantes sob diferentes usos no Cerrado. Dissertação. Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia. Recuperado el 28 de octubre de 2018 de www.amazoniaambiental.jimdo.com
- Vitousek P., Aber J., Howarth R. (1997). Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences. *Ecological Applications* 7 (3), 737-750.

Anexos

Anexo 1. Mediciones de emisiones de CO₂ por meses en mg CO₂.m⁻².h⁻¹

Parcela	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	395.86	763.21	901.25	848.94	807.57	445.86	231.63	328.95	566.59	766.61	655.83	769.29
2	156.00	147.56	155.17	237.51	302.26	256.21	490.57	245.23	225.12	229.60	366.39	302.07
3	588.88	669.41	399.91	1754.60	528.52	490.17	507.35	466.59	416.83	573.88	554.34	639.19
4	636.81	664.18	608.88	737.62	701.10	533.71	671.84	639.79	669.92	650.98	744.01	782.16
5	313.42	263.16	244.89	423.03	374.03	436.86	400.46	285.09	433.65	691.51	506.53	428.29
6	833.47	714.49	632.77	700.77	639.98	644.23	557.84	483.50	556.31	549.00	439.38	521.45
7	712.68	648.41	702.33	1079.50	624.14	914.12	995.66	653.68	981.20	920.54	809.02	1025.92
8	295.14	334.28	378.93	433.43	426.51	563.92	788.95	468.95	651.43	614.77	404.81	791.98
9	426.60	381.45	321.90	397.83	338.99	255.20	443.53	451.89	589.47	366.85	588.12	444.94
10	506.74	481.07	470.93	740.27	418.76	376.17	604.39	530.70	1196.09	290.41	851.31	488.70
11	644.07	610.99	707.48	839.16	1021.38	747.15	663.51	809.01	928.56	664.88	556.30	750.82
12	745.84	693.87	633.42	622.24	722.19	612.97	638.57	914.11	582.61	793.46	638.54	656.57
13	584.49	400.48	538.16	586.43	836.01	668.67	1357.60	785.52	767.92	548.02	571.12	648.58
14	475.43	708.83	517.01	923.66	939.62	823.61	345.54	581.83	603.40	349.05	587.14	537.78
15	815.84	703.16	766.73	959.85	1750.27	1104.06	1064.95	894.16	718.19	886.77	1149.03	1013.40
16	539.73	741.73	670.14	669.83	655.58	591.17	645.20	540.94	1109.59	654.97	839.55	769.48
17	442.74	383.07	731.02	848.18	533.45	553.67	446.70	479.68	576.25	430.95	404.68	452.16
18	847.79	495.23	565.79	712.34	668.55	731.73	561.84	826.02	1141.36	733.56	623.45	511.80
19	471.08	720.51	766.44	772.59	670.85	568.91	547.57	877.68	461.17	580.01	569.99	411.06
20	865.31	778.57	935.71	866.87	667.54	701.22	926.21	639.83	955.24	471.79	586.00	831.89
21	623.53	660.76	850.81	929.39	906.07	875.65	872.34	739.17	1063.02	621.47	519.41	613.34
22	705.83	621.76	852.08	1054.26	628.68	688.67	587.74	571.01	889.17	545.16	491.92	430.38
23	859.32	556.78	918.50	1213.64	908.94	800.46	591.35	753.84	1026.18	712.05	564.31	931.45
24	606.46	570.30	732.63	672.44	616.83	571.42	537.65	430.77	994.06	436.40	733.53	677.87
25	959.50	1089.59	757.86	687.50	676.81	601.86	548.75	648.03	1225.28	696.41	390.75	762.09

Anexo 2. Panel fotográfico

Anexo 2.1. Registrando los datos de emisión de CO₂ en campaña del EGM-4



Anexo 2.2. Registrando los datos de temperatura con el sensor.

