

Emisión de Gases de Efecto Invernadero en Suelos de Bosques Naturales Tropicales Bajo
Condiciones Contrastantes de Temperatura y Humedad

Lisbeth Susana Flórez Celis, María Fernanda Pineda Mora

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director

Diego Suescún Carvajal

MSc en Bosques y Conservación Ambiental

Codirector

Erika Mayerly Celis Celis

Química

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia – IPRED

Programa de Ingeniería Forestal

Málaga

2019

DEDICATORIA

*A **Dios**, ante todo, a quien agradezco infinitamente por darme la vida y permitirme culminar esta meta, por ser siempre mi guía, mi mayor fortaleza y hacerme entender que todo es posible de su mano.*

*A mis padres, **Álvaro Flórez** por ser un padre incondicional, por querer siempre lo mejor para mi vida, por darme la educación y formarme como persona, y **Fanny Celis** por ser mi madre y mi compañera, por todo el amor y apoyo recibido, por sus palabras de aliento y consejos.*

*A mi hijo **Juan Sebastian** por ser la luz de mis días, mi motivación más grande y por su paciencia en aquellos momentos cuando mi tiempo debió ser para él. Gracias por tu amor y comprensión mi pequeño.*

*A mis hermanos **Laura** y **Ferney** porque es un sueño compartido, cada uno lo estamos asumiendo de manera particular y en nuestras propias circunstancias. Mis amores de siempre.*

*A mi compañero de vida **Andres** y a mi querida **Blanca Florez**, son parte importante de mi vida. Gracias por todo su amor, su apoyo y por procurar nuestro bienestar.*

*Finalmente dedico este sueño a mi ángel del cielo, mi tía **Azucena**, quien en vida y en el poco tiempo compartido me motivó a cumplirlo como objetivo de realización personal.*

Lisbeth Susana Flórez

Este proyecto está dedicado en primera instancia a Dios, quien me dio fuerzas para levantarme después de cada tropiezo, y quien puso personas maravillosas para que hicieran de este sueño una realidad.

*A mi Madre **María Consuelo Mora Mora**, quien con su amor y valentía me formó en valores e hizo posible mi educación, por su apoyo incondicional y su motivación en momentos difíciles, eres una mujer maravillosa y me siento muy orgullosa de ello, siempre has dado todo para verme Feliz, te amo y no habrá forma de retribuir todo lo que has hecho por mí.*

*A mi Tía **Carmen Lorenza Mora** que desde el cielo me sonrío, eres uno de los principales motivos por el cual hice posible este logro, te amo y no tengo más que palabras de agradecimiento por motivarme a seguir mis sueños, siempre recordándome que lo inalcanzable es lo que no se intenta. Eres un gran ejemplo el cual quiero seguir y aunque la vida no me permite tenerte hoy en cuerpo y poder sentir tus brazos se lo orgullosa que te sientes de mí, “soñar contigo siempre que cierre mis ojos”.*

Fernanda Mora

Agradecimientos

Son muchas las personas que han contribuido en la realización de este proyecto de grado, es por ello que en Primer lugar quiero agradecer a Lisbeth Susana Flórez Celis por brindarme la oportunidad de trabajar mano a mano en este trabajo, su dedicación y su paciencia fueron fundamentales para que hoy sea un hecho, a Nuestro director de tesis Diego Suescún Carvajal por la paciencia y el apoyo prestado, la idea de nuestro proyecto de grado fue muy inspirador y nos abrió las puertas para pensar en algo diferente.

Agradezco de gran forma a María Rosales y Eliana Jaimes por la ayuda en campo, por la dedicación al realizar las parcelas permanentes y darlas como aporte para futuras investigaciones, a Diana Jaimes gran amiga que nos ofreció el contacto en robledal, y de forma personal un apoyo fundamental en este proceso, siempre con sus palabras de aliento, a la Profesora Judith Macías por su acompañamiento y ofrecernos el contacto en bosque seco.

Gracias a la Universidad Industrial de Santander por el proceso de formación, a los profesores Julian Mauricio Botero y a la profesora Erika Celis Celis por su acompañamiento en laboratorio y aportes a los resultados de nuestro proyecto.

Agradezco de forma personal a mi tía María Luisa Rojas, a Sandra Liliana Mora Rojas a Julio Hernando Mora Mora, ustedes junto a mi madre María Consuelo Mora fueron los principales impulsores de este logro.

A Ismael Antonio Espinosa Ruiz quien impuso un gran cambio en mi vida, y a pesar de los malos momentos jamás ha dejado de darme su apoyo, has dejado huella en mí y las grandes personas no se olvidan.

Y por último a aquellas personas que de una u otra forma aportaron su granito de arena, Familia y amigos Gracias.

A la Universidad Industrial de Santander y docentes por la formación académica impartida.

A nuestro director, el profesor Diego Suescún por el minucioso trabajo de orientación, por los seminarios impartidos ya que con ellos sentó las bases para la elaboración del trabajo de grado. Por su compromiso y el tiempo que dedicó una y otra vez a la dirección de la tesis procurando los mejores resultados.

A mi compañera de trabajo María Fernanda por asumir este reto, por creer firmemente en la idea desde el comienzo y por apropiarse de su parte pese a su carga académica. Fuimos un buen equipo procesando nuestro trabajo.

A nuestra Codirectora, la profesora Erika Celis y al profesor Julián Botero por su paciencia, orientación, recomendaciones y disposición de tiempo para la parte de laboratorio.

A los señores Delfo Uribe y Jairo Jaimes por permitirnos trabajar en sus fincas y por la confianza en el desarrollo del trabajo. De igual manera, a la profesora Judith Macías y a Diana Jaimes por facilitarnos los contactos con los propietarios.

A María Rosales y Eliana Jaimes por permitirnos trabajar en las parcelas, por su buena disposición y colaboración en el trabajo de campo. Su compañía y amistad fue muy grata.

A mi familia por su apoyo incondicional, amigos y compañeros por la motivación y compañía. Su contribución fue muy importante. Muchas gracias.

Tabla de Contenido

Introducción	16
1 Objetivos	18
1.1 Objetivo general.....	18
1.2 Objetivos específicos	18
2 Antecedentes	18
3 Marco referencial	19
3.1 Marco Teórico.....	19
3.1.1 Cambio climático.....	19
3.1.2 Servicios ecosistémicos.	20
3.1.3 Bosque seco tropical.	21
3.1.4 Robledal.	21
3.1.5. Cromatografía de gases.....	22
3.2 Marco Conceptual	22
4 Metodología	24
4.1 Área de estudio	24
4.2 Muestreo de GEI.....	26
4.2.1 Establecimiento de parcelas.....	26
4.2.2 Toma de muestras.	27
4.3 Laboratorio.....	28
4.4 Procesamiento de datos.....	28
5 Resultados	29
5.1. Robledal	29
5.1.1 Valores medios de las concentraciones de CO ₂ en AM y PM.....	29
5.1.2 Relaciones entre las concentraciones de CO ₂ , T (°C) y HR (%).	30
5.1.3 Acumulación de CO ₂	31
5.1.4 Modelos de regresión.....	32
5.2 Bosque Seco Tropical	33
5.2.1 Valores medios de las concentraciones de CO ₂ en AM y PM.....	33
5.2.2 Relaciones entre las concentraciones de CO ₂ , T (°C) y HR (%).	33
5.2.3 Acumulación de CO ₂	35

5.2.4 Modelos de regresión.....	36
5.3 Diferencias entre ecosistemas	36
6 Discusión.....	37
7 Conclusiones	40
8 Recomendaciones	40
Referencias Bibliográficas	42
Apéndices.....	45

Lista de Tablas

Tabla 1 Valores promedios de concentración de CO ₂	29
Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en AM	31
Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en PM.....	31
Tabla 4. Acumulaciones de CO ₂	32
Tabla 5. Modelos de regresión para robledal.....	32
Tabla 6. Valores promedios de concentración de CO ₂	33
Tabla 7. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en AM	35
Tabla 8. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en PM.....	35
Tabla 9. Acumulaciones de CO ₂	35
Tabla 10. Modelos de regresión para bosque seco	36

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación de las parcelas en el Robledal.	25
Figura 2. Ubicación de las parcelas en el bosque seco.	26
Figura 3. Gráficos de dispersión entre: (A) CO ₂ y T en AM; (B) CO ₂ y HR en AM; (C) CO ₂ y T en PM; (D) CO ₂ y HR en PM.	30
Figura 4. Gráficos de dispersión entre: (A) CO ₂ y T en AM; (B) CO ₂ y HR en AM; (C) CO ₂ y T en PM; (D) CO ₂ y HR en PM.	34
Figura 5. Comparación de medias de Duncan para las emisiones de CO ₂ entre horas de la mañana y medio día de cada tipo de bosque, y entre ambos tipos de bosques. Las letras (A y B) indican diferencias significativas.....	37

Lista de Apéndices

Apéndice A. Establecimiento de parcelas.....	45
Apéndice B. Toma de muestras.	45
Apéndice C. Cámaras instaladas en las parcelas.	46
Apéndice D. Cromatógrafo de gases.	46
Apéndice E. Procesamiento de muestras en laboratorio.	47
Apéndice F. Cromatograma con resultados de concentraciones de gases.	47
Apéndice G. Formato de campo.	48

Resumen

Título: emisión de gases de efecto invernadero en suelos de bosques naturales tropicales bajo condiciones contrastantes de temperatura y humedad¹

Autor: Lisbeth Susana Flórez Celis
María Fernanda Pineda Mora²

Palabras Clave: CO₂, Cromatografía de gases, Servicios ecosistémicos, Cambio climático.

Descripción:

El aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se considera de gran influencia en el cambio climático por el incremento en las temperaturas de la Tierra. Los suelos inciden en las concentraciones atmosféricas de los gases al actuar como fuentes o sumideros de estos, a la vez que son importantes emisores de CO₂ por procesos como la respiración, la deforestación, el cambio de uso de suelo, entre otros. Este trabajo tuvo como objetivo determinar las concentraciones de CO₂ emitido por los suelos en un ecosistema de robledal y de bosque seco. Para el muestreo se utilizó un sistema convencional de cámara cerrada, establecido en parcelas de 0,1 ha y la toma de muestras se hizo por 25 días para dos momentos del día teniendo en cuenta horas de bajas y altas temperaturas. El procesamiento de las muestras se realizó con la técnica de cromatografía de gases. Se tuvieron en cuenta variables de temperatura y humedad relativa del ambiente, para evaluar el grado de influencia de éstas en las emisiones de CO₂. Los resultados mostraron que las emisiones de CO₂ en robledal no tuvieron diferencias significativas para ambos momentos del día y ninguna variable se correlacionó con el CO₂. Para el bosque seco la emisión de CO₂ fue significativamente mayor en horas de la tarde que en la mañana, y la variable humedad relativa se correlacionó positivamente con la emisión de CO₂ en ambos momentos del día. Los análisis de regresión permitieron ajustar modelos para la estimación de la emisión de CO₂ en el bosque seco.

¹ Trabajo de Grado.

² Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Suescún Carvajal, Diego. MSc. Bosques y Conservación Ambiental. Codirector: Celis Celis, Erika Mayerly. Química.

Abstract

Title: Emmision of Greenhouse Gases in Soils of Tropical Natural Forests under Contrasting Conditions of Temperature and Humidity³

Autor: Lisbeth Susana Flórez Celis
María Fernanda Pineda Mora⁴

Key Words: CO₂, Gas Chromatography, Ecosystem Services, Climate Change.

Description:

The increase in greenhouse gas (GHG) emissions is considered to be of great influence on climate change due to the increase in Earth's temperatures. Soils affect atmospheric concentrations of gases by acting as sources or sinks of these, while they are important emitters of CO₂ through processes such as respiration, deforestation, land use change, among others. This work aimed to determine the concentrations of CO₂ emitted by soils in an oak and dry forest ecosystem. For sampling, a conventional closed chamber system was used, set in plots of 0.1 ha and the sampling was done for 25 days for two times of the day taking into account hours of low and high temperatures. Sample processing was performed with the gas chromatography technique. Variables of temperature and relative humidity of the environment were taken into account, to evaluate the degree of their influence on CO₂ emissions. The results showed that CO₂ emissions in oak forests had no significant differences for both times of the day and no variable was correlated with CO₂. For the dry forest the CO₂ emission was significantly higher in the afternoon hours than in the morning, and the relative humidity variable was positively correlated with the CO₂ emission at both times of the day. Regression analyzes allowed adjusting models for estimating CO₂ emissions in the dry forest.

³ Bachelor Thesis

⁴ Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Suescún Carvajal, Diego. MSc. Bosques y Conservación Ambiental. Codirector: Celis Celis, Erika Mayerly. Química.

Introducción

Colombia adquirió una serie de compromisos en las diferentes cumbres y protocolos mundiales realizados sobre el cambio climático, con estos compromisos el país busca implementar planes de adaptación al cambio climático. Para ello, se han establecido estrategias nacionales como los MDLs y los proyectos REDD+, entre otros, que buscan a través de estudios, actividades y proyectos, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como parte de su compromiso frente a la problemática mundial (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019). Estudiar y tener conocimiento de los GEI como el dióxido de carbono (CO_2), que se emiten por los suelos de los bosques naturales, es un tema crucial en la actualidad, ya que este tipo de estudios puede ser relacionado con las proyecciones de cambio climático de aumento en la duración e intensidad de sequías, y eventos hidrológicos extremos. Es fundamental, entender el proceso de respiración del suelo y dentro de éste, la emisión de CO_2 para asociarla con diversidad de variables meteorológicas, físicas, químicas y biológicas, y así entender su asociación y grado de influencia en el comportamiento (Palacio y Hurtado, 2008).

Los bosques proveen una amplia variedad de servicios ecosistémicos dentro de los que se encuentran la captura de carbono, control de erosión, regulación hídrica, entre otros, que son imprescindibles ante eventos que se están presentando como consecuencia de este cambio (Balvanera, 2012). Los bosques y los ecosistemas naturales sufren serias amenazas al ser intervenidos con actividades como la deforestación, expansión de la frontera agrícola, y demás actividades antrópicas reconocidas como algunas de las principales fuentes de emisión de los gases. Entre ellos, el CO_2 es el que se produce en mayores cantidades por intervención humana, aunque su poder de calentamiento es el más bajo de todos. Es necesario reconocer la importancia

de mantener gran parte de los ecosistemas en estado de conservación, sobre todo aquellos que presentan mayor vulnerabilidad, para así contrarrestar en cierta medida los efectos del cambio ambiental global.

Las emisiones de CO₂ debido a la respiración del suelo constituyen uno de los flujos más importantes hacia la atmosfera y la liberación de este gas se produce por la actividad microbiana y la respiración de las raíces en el suelo. Dicho proceso es muy variable y está influenciado por factores ambientales como la temperatura y la humedad, además de los nutrientes y variables relacionadas con las propiedades del suelo (Lefèvre, Rekik, Alcantara y Wiese, 2017).

El objetivo de este estudio fue determinar las concentraciones de CO₂ en el suelo de dos ecosistemas particulares, como lo son el robledal y el bosque seco; relacionar tales emisiones con las variables temperatura y humedad relativa y comparar respectivamente ambos sitios para dos momentos del día (uno de baja y otro de alta temperatura).

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar la concentración de gases de efecto invernadero (CO_2) junto con los principales gases componentes en la atmósfera O_2 y N_2 emitidos en el suelo de bosques naturales tropicales bajo condiciones contrastantes de temperatura y humedad.

1.2 Objetivos específicos

Determinar para dos horas del día (7 am y 12 pm), la concentración de CO_2 emitido en el suelo de ambos tipos bosques.

Determinar las relaciones entre la emisión de CO_2 con la temperatura (T) y humedad relativa (HR), para dos horas del día (7 am y 12 pm) y en cada tipo de bosque.

Comparar los resultados obtenidos entre las horas de menor temperatura (mañana) y de mayor temperatura (medio día) para cada tipo de bosque y entre ambos tipos de bosque.

2 Antecedentes

Ferreira, Rondón y Hurtado (2008), en su estudio “Flujos de gases de efecto invernadero del sistema agroforestal Quesungual, sistema de tala y quema y del bosque secundario, en el sur de Lempira, Honduras”, compararon los flujos de óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) y dióxido de

carbono (CO_2), entre el suelo y la atmósfera, mediante un sistema de cámara cerrada, aplicados a cinco usos de la tierra, en un ecosistema de bosque seco tropical. Los flujos de GEI presentaron un comportamiento estacional, registrando las mayores emisiones durante la época lluviosa.

Serrano, Nuñez y Valleter (2017), en su trabajo “Respiración de dióxido de carbono de suelo, en bosque tropical húmedo–Gamboa Panamá”, cuantificaron el CO_2 que fluye del suelo a través de un sistema de cámaras cerradas. El muestreo se realizó en una parcela de 1 ha, donde se establecieron 21 puntos. Los resultados mostraron que la respiración del suelo fue homogénea y se pudo establecer el control que ejercen la temperatura y humedad del suelo sobre la emisión del CO_2 a la atmosfera.

3 Marco referencial

3.1 Marco Teórico

3.1.1 Cambio climático. El cambio climático que se ha venido experimentando con más frecuencia desde comienzos del siglo XX, es un fenómeno provocado parcialmente por la emisión GEI donde uno de sus principales componentes es el CO_2 , producto de actividades humanas, lo que provoca cambios en la biosfera (González et al., 2003).

Dentro de los gases que componen la atmósfera encontramos dos principales, el N_2 y O_2 que comprenden un 99% de ésta, el 1% restante está conformado por otros gases dentro de los cuales dos de ellos intervienen en el efecto invernadero (CO_2 y NH_4) y ellos se encargan de mantener parte de la temperatura proveniente de los rayos ultravioletas producidos por el sol (Caballero, Lozano y Ortega, 2007).

Sin embargo, el aumento de estos GEI es clave fundamental en el cambio climático. Debido al incremento de dicha temperatura han aumentado las variaciones climáticas, alterando zonas de vegetación, sequías extensas, precipitaciones prolongadas, cambios de fauna y flora, derretimiento de glaciares, lo que aumenta el nivel del mar, y consigo inundaciones de las zonas costeras, presentando afectación en los servicios ecosistémicos que nos brindan los bosques (Fernández, 2008).

3.1.2 Servicios ecosistémicos. Los servicios son fundamentales para la sociedad, y se pueden reconocer en tres tipos. Se encuentran los servicios de provisión que podemos consumir directamente y que brindan beneficios de alimentación, energía, agua, medicinas entre otros. Los servicios de regulación se encargan de mantener en equilibrio el clima, control de inundaciones, purificación de aguas, captura de CO₂, entre otros. Por último, los servicios culturales, que son aquellos que se basan en temas recreativos, estéticos y de dispersión (Dixon et al., 1994).

Los servicios nombrados anteriormente, son de vital importancia para la existencia de vida en el planeta, se pueden destacar los servicios de regulación, que son los encargados de mantener un equilibrio entre la contaminación producida por el hombre y el funcionamiento del ecosistema (Quétier, 2007).

Los bosques naturales ayudan a la regulación de la temperatura y por ende del clima, ya que estos absorben la energía proveniente de la radiación solar y la transforman por medio de la fotosíntesis. De igual manera, las plantas convierten el CO₂ en O₂ por lo que ciertos bosques son considerados por algunas entidades como bancos de O₂ para incentivar al cuidado del medio ambiente (Anderson et al., 2012).

3.1.3 Bosque seco tropical. Este tipo de bosque se caracteriza por el estrés hídrico del ecosistema producido por baja precipitación, la cual no sobrepasa los 2000 mm y una temperatura oscilante entre los 17 y 35 °C, suelos jóvenes, rocosos y compactados ricos en nutrientes debido a baja lixiviación, humedad baja ya que la evapotranspiración excede los mm de precipitación anual. La vegetación es achaparrada, sub-xerofítica, predominada por especies de la familia Cactaceae (especies que modificaron sus hojas por espinas para mayor almacenamiento de H₂O) (Linares y Fandiño, 2009).

Estos bosques han sido intervenidos por procesos de la expansión agrícola, por lo que han sufrido una alta transformación, la cual no ha sido muy relevante para algunos estudios, debido a que estos están centrados principalmente en ecosistemas con mayor humedad. Por tal motivo, muchos autores se refieren a este ecosistema como uno de los más amenazados del neotrópico.

3.1.4 Robledal. Bosques dominados por la especie *Quercus humboldtii* Bonpl., más conocidos como robledales. Esta especie se encuentra amenazada en la categoría “Vulnerable” según la Unión Internacional para Conservación de la Naturaleza (UICN). El robledal se encuentra entre los 1800 y 3600 msnm entre las tres cordilleras, y en la Sierra Nevada de Santa Marta. Con respecto a los bosques húmedos tropicales, el robledal se caracteriza por ser un bosque de menor altura de dosel, poca diversidad de especies, temperaturas bajas, alta acumulación de materia orgánica, debido al lento ciclaje de nutrientes. Por lo anterior, estos ecosistemas son grandes acumuladores de carbono en el suelo, y prestan un alto servicio de regulación de agua. Generalmente, los robledales presentan suelos del orden Andisol, además de presentar una alta abundancia de epifitas, líquenes y musgos. Estos bosques han sido sometidos a procesos de inmigración y asentamientos humanos, los cuales han tenido gran afectación sobre el mismo por el alto aprovechamiento de

maderas y cambios de suelos, debido a la expansión agrícola y ganadera; por lo que su uso fue vedado. Sin embargo, la extracción y aprovechamiento puede realizarse por medio de levantamiento de vedas locales (Ávila, Ángel y López, 2010).

3.1.5. Cromatografía de gases. La cromatografía de gases es una técnica que permite separar una mezcla de gases, cuyos compuestos deben ser de bajo peso molecular como, por ejemplo, los gases que están presentes en la atmósfera. El equipo empleado para dicho proceso es el cromatógrafo de gases, que consta de una fuente de gas, una entrada o sistema de inyección, una columna cromatográfica, un detector y un sistema de registro.

El procedimiento se ejecuta conectando el sistema portador de muestras a la entrada del equipo e inyectando una cantidad de muestra pequeña, que es succionada por una válvula y dirigida a una corriente de gas portador inerte, el cual no interacciona con las moléculas de la muestra, sino que las transporta, todo ello a una temperatura elevada. La corriente de gas atraviesa la columna que es la esencia del equipo y la que separa los componentes de la mezcla y en el momento en que están separados, salen a intervalos de tiempo hacia el sistema de detección, el cual indica la elución de los componentes por medio de señales mediante un software.

El software muestra los resultados del procesamiento de la muestra por medio de un cromatograma, en el que se comparan las áreas o alturas de los picos de los componentes de las muestras, que son proporcionales a las cantidades de cada uno de ellos (Gomis, 2008).

3.2 Marco Conceptual

Bosques: Cobertura dominada por arboles con un dosel continuo con un área que se extiende por más de 0,5 ha y con copas entrelazadas (FRA, 2015).

Calentamiento global: Aumento de la temperatura proveniente de los rayos solares los cuales son atrapados por los gases de efecto invernadero y son los responsables de los cambios climáticos (González et al., 2003).

Cambio climático: Cambio provocado por el calentamiento global debido al aumento de gases de efecto invernadero, el cual incurre sobre los cambios de temperatura y humedad del planeta influyendo directamente en los cambios extremos del clima (González et al., 2003).

Clima: Estado cambiante de la atmósfera relacionado con zonas específicas donde se involucra la temperatura, humedad relativa, precipitación y los vientos (Vásquez, 2009).

Deforestación: Tala de bosques naturales para cambio de uso de la tierra como agricultura y ganadería (FRA, 2015).

Dióxido de carbono: Principal gas que conforma el efecto invernadero, el cual es uno de los más alterados por el hombre, debido a las altas emisiones producto de respiración, industrialización, quema de combustible fósil y quema o descomposición de las plantas (González et al., 2003).

Efecto invernadero: Proceso natural mediante el cual se retiene el calor en la parte baja de la atmosfera por medio de algunos gases que la conforman (González et al., 2003).

Fenómeno de El Niño: Aumento de la temperatura proveniente del mar debido a la disminución de los vientos alisos dando paso a una época cálida (González et al., 2003).

Fenómeno de La Niña: Fenómeno por el cual las temperaturas ecuatoriales disminuyen debido a los vientos alisos del oeste, generando época fría y lluviosa (González et al., 2003).

Gases de efecto invernadero: Gases volátiles de la atmósfera que absorben radiaciones infrarrojas: dentro de los cuales se encuentran vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), fluorocarbonos halogenados (HCFCs), ozono (O_3), hidrofluorocarbonos (HFCs), entre otros (González et al., 2003).

Metano: Es el gas que presenta mayor aumento de la temperatura en el efecto invernadero producto de la descomposición anaeróbica (sin presencia de oxígeno) (González et al., 2003).

Óxido nitroso: Gas proveniente de deforestación, fertilizantes, descomposición de abonos (González et al., 2003).

Servicios ecosistémicos: Bienes y servicios que proveen los bosques los cuales son indispensables para la calidad de vida y la sostenibilidad de los ecosistemas (Balvanera, 2012).

4 Metodología

El área de muestreo comprende condiciones contrastantes de temperatura y humedad establecidos en un robledal y en un bosque seco tropical. El procedimiento consistió en evaluar la concentración de GEI emitidos por el suelo en ambos bosques. Comprendió inicialmente, la exploración de la zona para determinar los sitios para el montaje de las parcelas. Una vez definidos, se establecieron parcelas de forma rectangular con un área de 0,1 ha. Seguidamente, se tomaron las muestras y se llevaron a laboratorio donde se procesaron y analizaron.

4.1 Área de estudio

El estudio se desarrolló en la vereda El Llano del municipio de Molagavita, las parcelas fueron ubicadas entre las coordenadas $6^{\circ}39'6.65''$ – $6^{\circ}39'8.55''$ en sentido NS y $72^{\circ}46'15.68''$ – $72^{\circ}46'12.58''$ en sentido EW a una altitud aproximada de 3100 msnm. Las otras parcelas fueron ubicadas en la vereda El Juncal del municipio de Enciso con parcelas entre las coordenadas $6^{\circ}36'35.75''$ – $6^{\circ}36'34.02''$ en sentido NS y $72^{\circ}42'28.46''$ – $72^{\circ}42'26.74''$ EW con altitud aproximada de 1200 msnm (Figura 1 y 2).

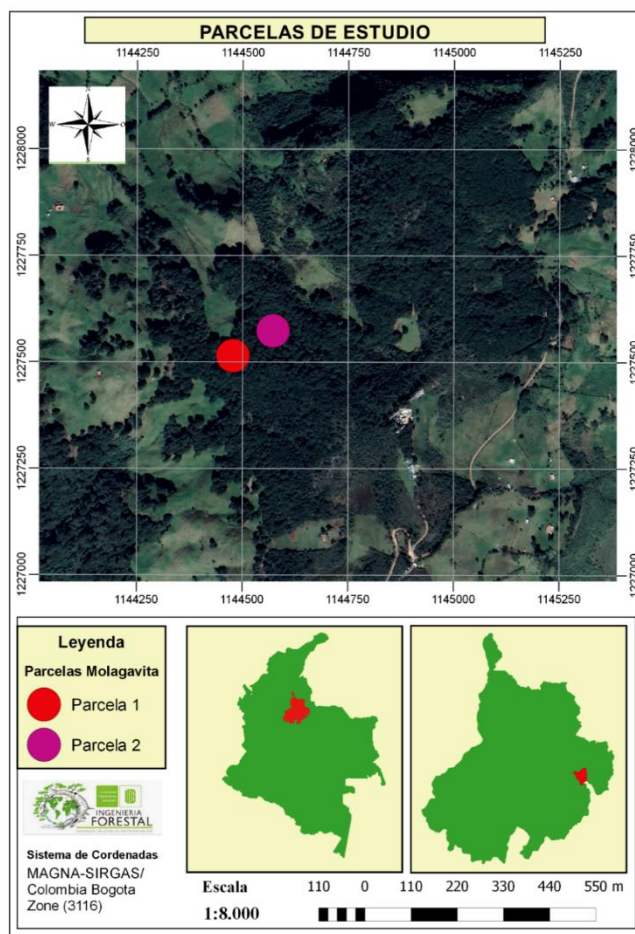


Figura 1. Ubicación de las parcelas en el Robledal.

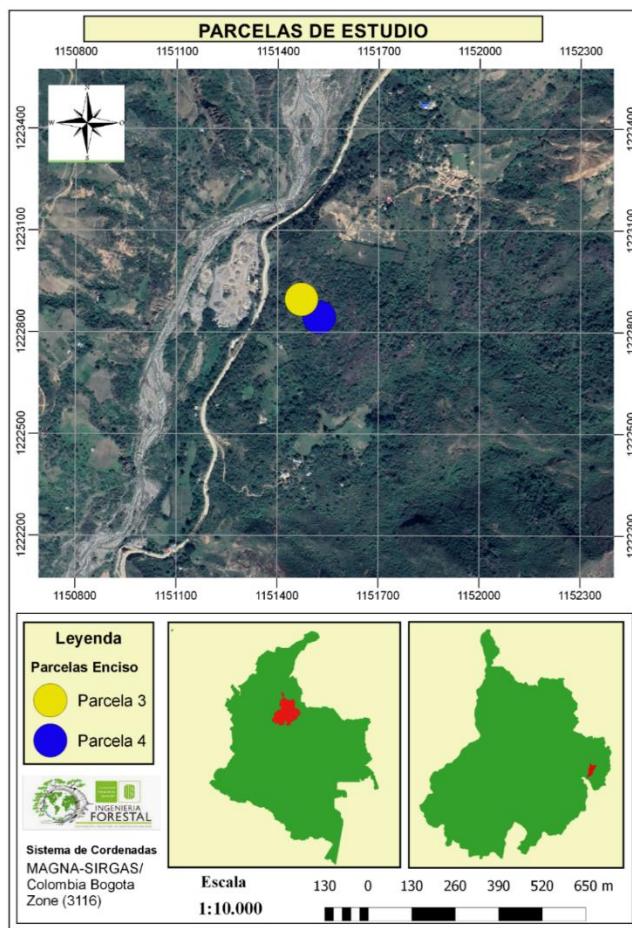


Figura 2. Ubicación de las parcelas en el bosque seco.

4.2 Muestreo de GEI

4.2.1 Establecimiento de parcelas. En cada uno de los bosques se establecieron dos parcelas rectangulares, cada una de 0,1 ha (20 x 50 m). En las aristas se colocaron tubos de PVC de 1 m de largo por 3/4" de diámetro. El área se delimitó con una pita de polipropileno color blanco. Se realizó corrección de pendiente y revisión de ángulos rectos, debido a las variaciones en la topografía de los terrenos. Cada parcela se subdividió en 10 cuadrantes, los cuales fueron marcados con plaquetas de papel foil y con letras (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J) para su identificación.

4.2.2 Toma de muestras. La toma de muestras se realizó en dos momentos del día, a las 7 am para la hora de bajas temperaturas, y a las 12 pm para la hora de altas temperaturas. Se instalaron cámaras de vidrio (30 x 30 x 20 cm de alto) que fueron introducidas en el suelo a una profundidad de entre 3 y 5 cm, en un cuadrante en particular (escogido al azar cada día) por parcela. Dichas cámaras fueron elaboradas de forma artesanal haciendo una adaptación a los modelos presentados por Arenas (2015), teniendo en cuenta un material que no fuera contaminante y que no alterara las concentraciones del CO₂ dentro de la cámara.

Luego de 40 minutos de la instalación, se extrajo la muestra de aire con una jeringa plástica de alta capacidad por medio de un agujero contenido en la parte superior de la cámara (el cual permaneció sellado todo el tiempo hasta el momento de la toma). A cada jeringa se le adaptó una válvula para evitar que se perdiera o modificara la muestra de aire, ésta se codificó con el número de parcela, cuadrante y hora de recolección. Asimismo, se registró la temperatura y la humedad relativa del ambiente en el cuadrante con un termohigrómetro.

El total de muestras se cuantificó así: en el cuadrante seleccionado por aleatorización de cada parcela se tomaron dos muestras, una en la mañana y otra al mediodía, es decir, cuatro diarias para cada bosque. El procedimiento se repitió por 25 días, teniendo así un escenario de 100 muestras para cada tipo de bosque, es decir 200 muestras en total.

Previo al muestreo, se realizó un procedimiento similar para determinar el tiempo de estabilización de las concentraciones. Se extrajeron muestras a los 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, donde se definió que el tiempo óptimo es de 40 minutos, ya que no mostró variaciones representativas con respecto a los tiempos anterior y siguiente. Además, se determinó que luego de almacenar la muestra por 12 a 24 horas no se presentaron cambios en las concentraciones, como sí ocurrió para un periodo mayor a 24 horas.

4.3 Laboratorio

Una vez obtenidas las muestras en campo, se transportaron al laboratorio de Reconversión Ganadera y Agroforestal de la Universidad Industrial de Santander, sede Málaga, en un tiempo no mayor a 24 horas. Allí, se transfirieron a un cromatógrafo de gases (SHIMADZU GC-2014) con detector TCD. Las muestras se pasaron al equipo directamente desde las jeringas. El tiempo de análisis fue de 15 minutos para cada muestra.

La determinación de la concentración se realizó interpretando el cromatograma, en el cual se reflejaron las magnitudes de las señales originadas por el cromatógrafo para cada componente de la muestra. Los valores fueron expresados como porcentajes y se convirtieron a ppm, unidades generalmente usadas para expresar concentraciones de gases.

4.4 Procesamiento de datos

Con el fin de obtener un óptimo análisis de la información, se recopiló y organizó la información obtenida en laboratorio en una base de datos por tipo de bosque y por hora de muestreo.

Se calcularon promedios diarios por hora de muestreo y cada tipo de bosque, de las variables medidas en campo: CO₂, O₂, N₂, T y HR.

Debido a que el estudio se enfocó en la emisión de CO₂ en función de T y HR, se tomaron las tres variables para así, poder realizar correlaciones y regresiones junto con sus gráficos de dispersión.

Se tomó como variable dependiente el CO₂, y como variables independientes la T y HR, se realizaron modelos de regresión simple para: CO₂ con T AM, CO₂ con HR en AM, CO₂ con T en PM, CO₂ con HR en PM, tanto para robledal como para bosque seco.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias de Duncan con los datos tomando cuatro tratamientos correspondientes a T1: bosque seco en AM, T2: bosque seco en PM, T3: robledal en AM, T4: robledal en PM, y las variables de CO₂, T y HR.

5 Resultados

5.1. Robledal

5.1.1 Valores medios de las concentraciones de CO₂ en AM y PM. En la Tabla 1, se presentan los valores promedios de concentración de CO₂, O₂ y N₂. Se puede observar que en PM el CO₂ fue ligeramente mayor (2202 ppm) que en AM (2101 ppm), con diferencias estadísticas no significativas. La concentración de O₂ aumentó cuando la emisión de CO₂ fue mayor, mientras que el N₂ mostró una diferencia inversa frente a éste. Se muestra desviación estándar (DS).

Tabla 1
Valores promedios de concentración de CO₂

HORA	CO ₂ (ppm)	O ₂ (ppm)	N ₂ (ppm)	T°	HR
AM	2101	204923	792977	9,30	85,68
DS	326,33	4333,91	4414,01	0,79	5,23
PM	2202	205306	792492	15,29	74,50
DS	446,64	3261,48	3347,27	1,32	7,23

5.1.2 Relaciones entre las concentraciones de CO₂, T (°C) y HR (%). Al revisar el comportamiento del CO₂ frente a la temperatura y la humedad relativa, se observó que, en general, los datos presentan una tendencia de correlación positiva, aunque débil. Esto excepto en las concentraciones de CO₂ con temperatura para las horas de la tarde en donde la correlación fue negativa (Figura 3). Estadísticamente no hay una relación entre el CO₂ y las variables T y HR.

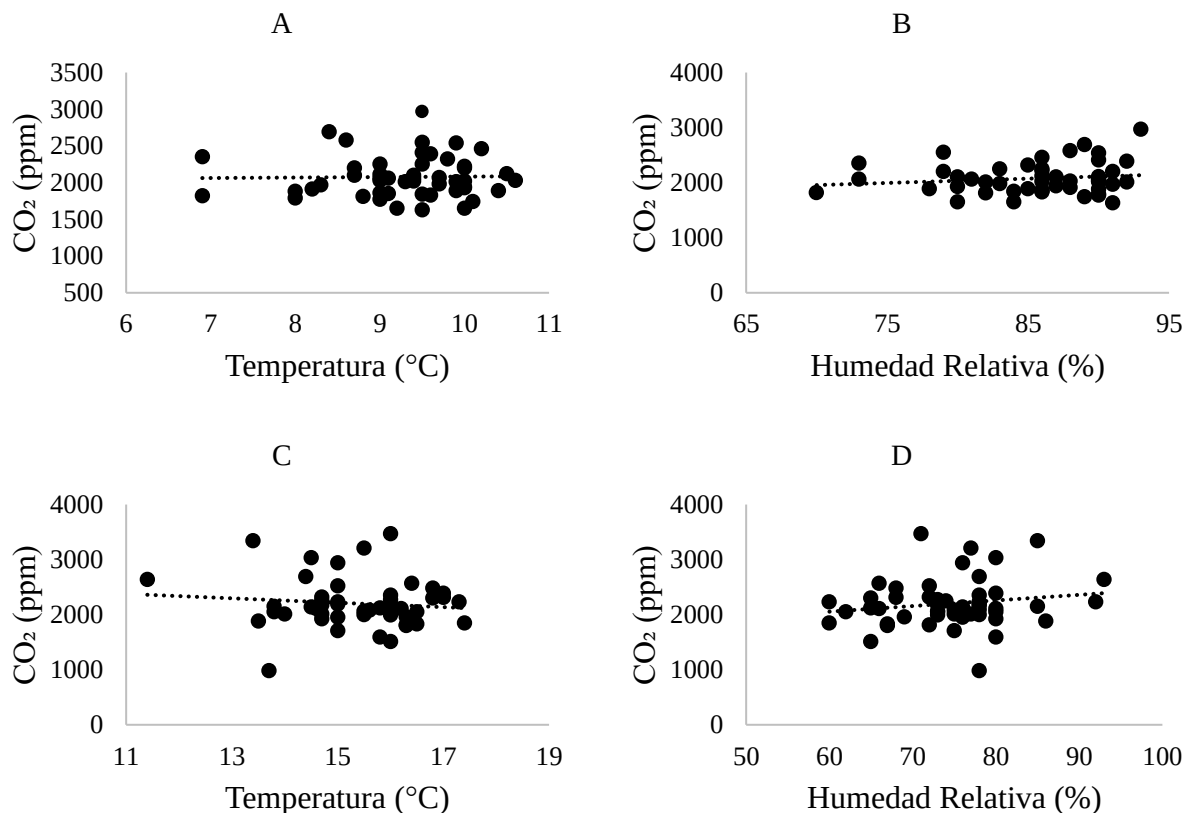


Figura 3. Gráficos de dispersión entre: (A) CO₂ y T en AM; (B) CO₂ y HR en AM; (C) CO₂ y T en PM; (D) CO₂ y HR en PM.

Para verificar el grado de relación existente entre el CO₂ y las variables para ambos momentos del día, se determinaron correlaciones de Pearson (Tablas 2 y 3), las cuales corroboraron lo anteriormente expuesto, ya que los datos no muestran ninguna correlación.

Tabla 2.
Coefficientes de correlación de Pearson entre las variables en AM

	CO ₂	T	HR
CO ₂	1		
T	0,02	1	
HR	0,14	0,16	1

Tabla 3.
Coefficientes de correlación de Pearson entre las variables en PM

	CO ₂	T	HR
CO ₂	1		
T	-0,10	1	
HR	0,17	-0,81	1

5.1.3 Acumulación de CO₂. Durante seis días se tomaron muestras en el momento posterior a la instalación de las cámaras, estableciendo dicho momento como el tiempo cero de medición, con el fin de visualizar la acumulación del flujo de CO₂ tanto en AM como en PM. Las acumulaciones se presentaron como las diferencias entre los promedios del minuto 40 y el minuto 0. La mayor acumulación se presentó en PM con 1498 ppm, frente a 1203 ppm en AM (Tabla 4). Aunque no fue un muestreo representativo, con ello se pretendió tener una noción sobre el comportamiento del CO₂ al acumularlo.

Tabla 4.
Acumulaciones de CO₂

	AM		PM	
	t ₀	t ₄₀	t ₀	t ₄₀
	980	2060	660	2230
	810	1810	880	2300
	750	1630	800	1590
	1360	1740	750	2090
	700	3240	930	3340
	680	2020	690	2150
Promedio	880	2083	785	2283
DS	258,68	590	105,97	575,41
Flujo	1203		1498	

5.1.4 Modelos de regresión. Se ajustaron los modelos de regresión (entre lineales, cuadráticos y cúbicos) para todas las variables del estudio, y se tuvieron en cuenta aquellas que presentaron un p-value<0,05 (Tabla 5).

A continuación, se presentan los modelos de regresión, pese a que ninguno se ajustó para este ecosistema:

Tabla 5.
Modelos de regresión para robledal

Proceso	Ecuación	p-value
Robledal CO₂-T en AM	CO ₂ = 15554 – 4825 (T) + 568 (T) ² - 22,00 (T) ³	(0,629)
Robledal CO₂-HR en AM	CO ₂ = -164742 + 6249 (HR) – 77,75 (HR) ² + 0,3213 (HR) ³	(0,116)
Robledal CO₂-T en PM	CO ₂ = 31312 – 5781 (T) + 382,5 (T) ² - 8,43 (T) ³	(0,633)
Robledal CO₂-HR en PM:	CO ₂ = 1443 + 10,19 (HR)	(0,252)

5.2 Bosque Seco Tropical

5.2.1 Valores medios de las concentraciones de CO₂ en AM y PM. Para este caso los promedios arrojaron mayor emisión de CO₂ en horas de la tarde (2794 ppm) respecto a la mañana (2033 ppm) con diferencias estadísticamente significativas (Tabla 6). Igual que lo sucedido en robledal, la presencia de O₂ aumentó, en proporción al CO₂, mientras que el N₂ mostró disminución.

Tabla 6.
Valores promedios de concentración de CO₂

HORA	CO ₂ (ppm)	O ₂ (ppm)	N ₂ (ppm)	T °C	H.R %
AM	2033	205700	792357	19,72	79,65
DS	1216,20	3231,18	3099,61	1,25	7,80
PM	2794	205744	779763	33,93	36,80
DS	1671,70	4785,58	84218,26	3,89	8,19

5.2.2 Relaciones entre las concentraciones de CO₂, T (°C) y HR (%). El comportamiento del CO₂ frente a la temperatura presentó una tendencia de correlación negativa (aunque débil) para horas de la mañana y más fuerte para horas de la tarde. Sin embargo, para el caso de HR, estas relaciones mostraron una tendencia positiva y más fuerte (Figura 4).

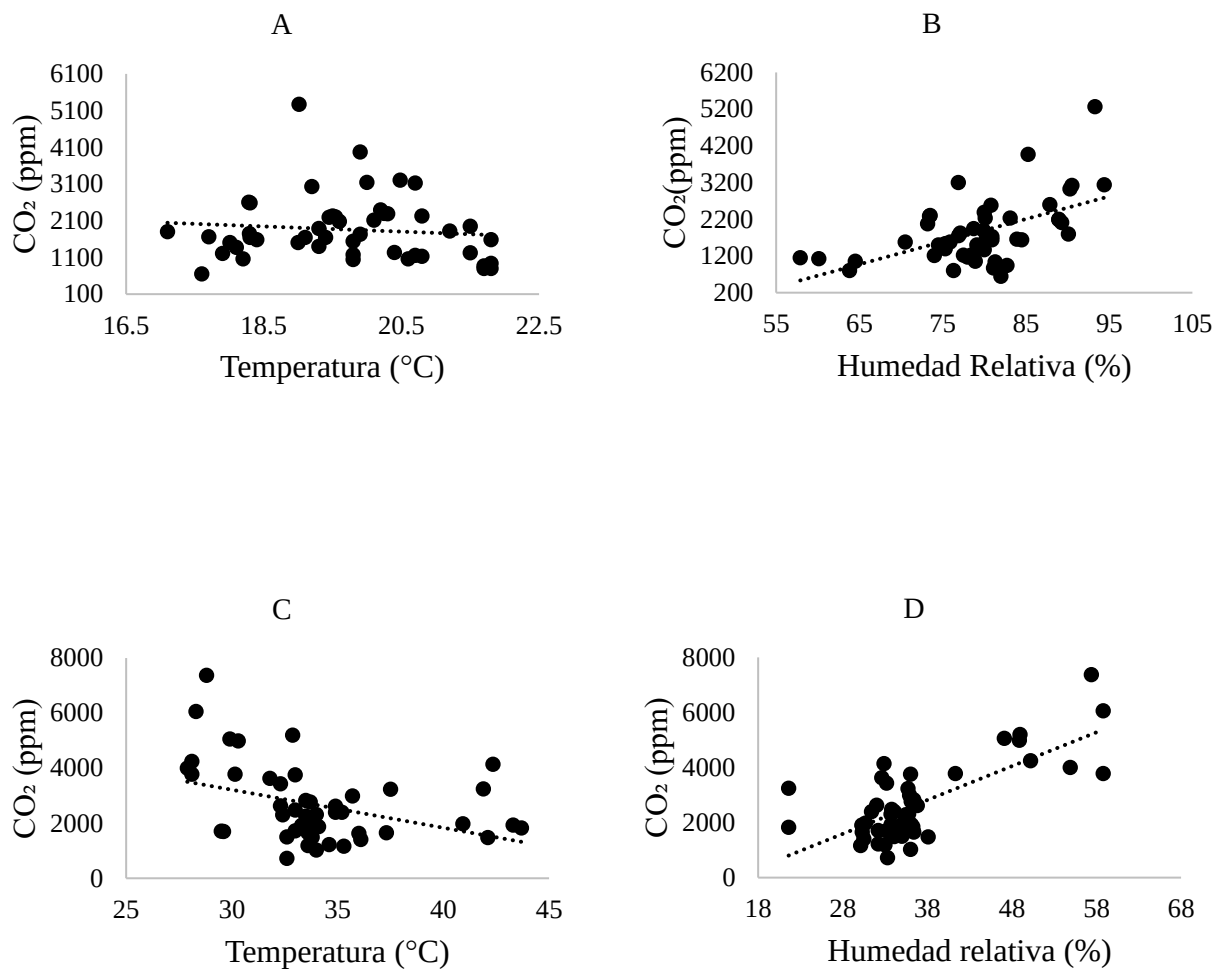


Figura 4. Gráficos de dispersión entre: (A) CO₂ y T en AM; (B) CO₂ y HR en AM; (C) CO₂ y T en PM; (D) CO₂ y HR en PM.

Para verificar el grado de relación existente entre el CO₂ y las variables para ambos momentos del día, se determinaron correlaciones de Pearson (Tablas 7 y 8), las cuales mostraron una correlación entre el CO₂ y la variable HR.

Tabla 7.
Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en AM

	CO ₂	T	HR
CO ₂	1		
T	-0,10	1	
HR	0,55	-0,29	1

Tabla 8.
Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en PM

	CO ₂	T	HR
CO ₂	1		
T	-0,39	1	
HR	0,73	-0,63	1

5.2.3 Acumulación de CO₂. Similar al procedimiento realizado en robledal, se tomaron las muestras por seis días en minuto cero y minuto 40, para visualizar la acumulación del flujo de CO₂ tanto en AM como en PM. La mayor acumulación se presentó en PM con 3728 ppm, frente a 2713 ppm en AM (Tabla 9).

Tabla 9.
Acumulaciones de CO₂

	AM		PM	
	t ₀	t ₄₀	t ₀	t ₄₀
	560	3970	880	3780
	640	5920	530	9310
	300	1750	590	1490
	530	1580	210	1910
	90	2300	390	4000
	320	3200	720	5200
Promedio	407	3120	553	4282
DS	206,07	1642,55	237,04	2824,06

Flujo	2713	3728
--------------	-------------	-------------

5.2.4 Modelos de regresión. Contrario al robledal, en este ecosistema los cuatro modelos de regresión se ajustaron con un $p\text{-value} < 0,05$ (Tabla 10).

A continuación, se presentan los modelos de regresión ajustados (el que mejor se ajustó fue el modelo cuadrático):

Tabla 10.
Modelos de regresión para bosque seco

Proceso	Ecuación	p-value
Bs CO₂-T en AM	$\text{CO}_2 = -79255 + 8349 (T) - 213,8(T)^2$	(0,011)
Bs CO₂-HR en AM	$\text{CO}_2 = 12743 - 351,2 (HR) + 2,672 (HR)^2$	(0,019)
Bs CO₂-T en PM	$\text{CO}_2 = 46946 - 2392 (T) + 31,64 (T)^2$	(0,000)
Bs CO₂-HR en PM:	$\text{CO}_2 = 3767 - 160,2 (HR) + 3,374 (HR)^2$	(0,027)

5.3 Diferencias entre ecosistemas

Al tener en cuenta la diferencia de medias a través del análisis de varianza (ANOVA), en el bosque seco se encontraron diferencias significativas en la emisión de CO₂ entre las horas AM y PM, mientras que el robledal no presentó ninguna diferencia significativa en dichas horas. Por otra parte, la comparación entre bosque seco y robledal no mostró diferencias significativas tanto para AM como para PM. Los tratamientos considerados fueron T1: bosque seco en AM, T2: bosque seco en PM, T3: robledal en AM, T4: robledal en PM (Figura 5).

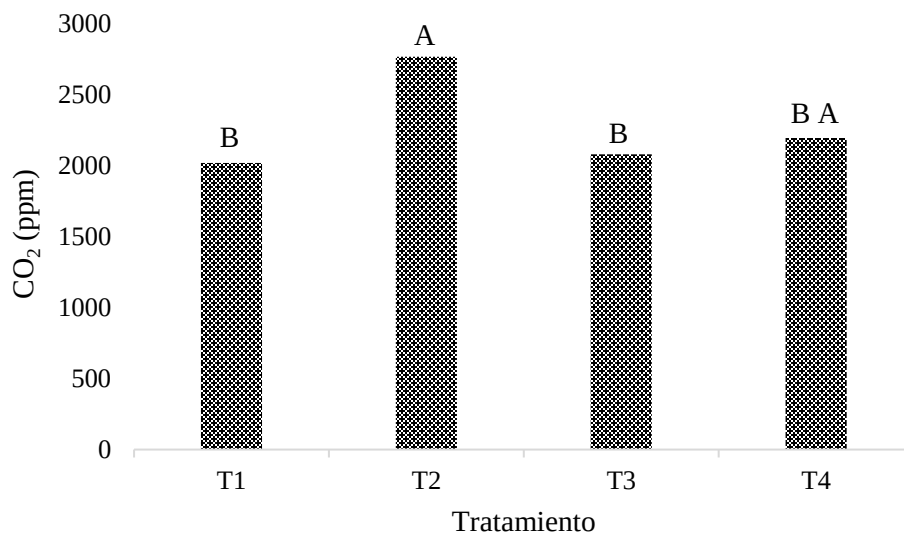


Figura 5. Comparación de medias de Duncan para las emisiones de CO₂ entre horas de la mañana y medio día de cada tipo de bosque, y entre ambos tipos de bosques. Las letras (A y B) indican diferencias significativas

6 Discusión

El incremento acelerado de las concentraciones de GEI en la atmósfera ha generado gran preocupación a nivel mundial, al considerarse que tienen una influencia directa en el calentamiento global. Entre los principales GEI, está el CO₂ que se vincula con la vegetación al ser capturado por las plantas mediante la fotosíntesis y nuevamente emitido al ambiente por procesos naturales como la respiración del suelo.

Ferreira et al. (2018), compararon los flujos de óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), entre el suelo y la atmósfera para cinco usos de la tierra en bosque seco tropical, determinando a su vez, las variables del suelo que más explicaron el comportamiento de los GEI. Para el caso del CO₂, los diferentes usos de la tierra tuvieron las mayores emisiones en la época lluviosa. A pesar de que el efecto de la lluvia no fue tenido en cuenta como un parámetro determinante del comportamiento del CO₂ en nuestro estudio, sí se observó un comportamiento

similar en bosque seco, donde los días lluviosos presentaron los valores más altos de emisión. Ferreira et al. (2008), afirman que al correlacionar los flujos de CO₂ con las variables del suelo seleccionadas, no se presentó ninguna relación. En contraste, nuestros resultados en bosque seco mostraron una correlación entre el CO₂ y la HR en horas PM.

Serrano et al. (2017), cuantificaron la cantidad de CO₂ que fluía en el suelo de un bosque húmedo tropical, midiendo en un tiempo corto la tasa de cambio de concentración de CO₂ a través de la superficie del suelo. Los resultados mostraron que la respiración del suelo fue relativamente homogénea y que, al ajustar modelo de regresión lineal entre CO₂ y la temperatura del suelo - humedad relativa del suelo, los resultados mostraron que ambas variables no mantienen una relación estadísticamente significativa sobre la respiración del suelo. Situación similar ocurre en este estudio para el robledal, donde las emisiones de CO₂ tuvieron un comportamiento homogéneo y disperso, ya que el valor de R entre el CO₂ y la temperatura y entre el CO₂ y la humedad relativa mostró correlaciones débiles tanto para las horas AM como PM. De igual manera, los análisis de regresión entre el CO₂ y cada una de las variables establecidas arrojaron un p-value > 0.05, mostrando que ningún modelo se ajustó para ningún proceso.

Por otra parte, la comparación entre bosque seco y robledal no mostró diferencias tanto para AM como para PM, en tanto que las comparaciones dentro de cada bosque indican que las emisiones en bosque seco son más representativas respecto al robledal, deduciendo quizás que el suelo en bosque seco tiene más influencia sobre la emisión de este gas a la atmósfera, posiblemente porque en general en estos ecosistemas la baja lixiviación de nutrientes y las altas temperaturas permiten una mayor y más rápida actividad de los microorganismos y las raíces en él, mientras que en los robledales la acumulación de materia orgánica es más rica pero más superficial y los procesos de descomposición son más lentos asociados quizás a las bajas temperaturas.

Se puede inferir que donde hay masas boscosas densas como en nuestro caso, los ecosistemas de robledal, hay menor probabilidad de concentración de GEI, y como lo menciona Serran et.al, (2017), se debe tratar de reducir el desequilibrio y evitar que los bosques se conviertan en una fuente emanación de CO₂. A pesar de las transformaciones de los ecosistemas y al uso desmesurado e insostenible de los recursos, aún quedan grandes extensiones de superficie boscosa. Se estima que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los bosques podrían resultar en sumideros netos de carbono durante los próximos 100 años, lo que permitirá reducir de 20% a 50% las emisiones de carbono a la atmósfera, para mitigar con ello en gran parte, el cambio climático, pues los suelos actúan como fuentes y sumideros de GEI y aunque las capacidades de almacenamiento y emisión pueden ser grandes y variables dependiendo del tipo de cobertura. Por esto, es indispensable tener información rigurosa al respecto, para obtener estimaciones globales que sean confiables, indispensables para realizar una adecuada gestión del uso de la tierra (agricultura, silvicultura), el cambio global y la investigación climática (Oertel, Maschullat, Zurba, Zimmermann y Erasmi, 2016).

Un modelo empírico basado en la temperatura del suelo y la humedad del suelo en ecosistemas semiáridos explicó el 90% y el 72% de la variabilidad estacional de la respiración del suelo en sitios naturales y degradados; respectivamente. El estudio de Rey, Pegoraro, Oyonarte, Escribano y Raimundo (2011), sugiere que la degradación de la tierra puede alterar el balance de carbono de estos ecosistemas a través de cambios en la dinámica temporal de la respiración del suelo y productividad de la planta, que tiene importantes consecuencias negativas para el funcionamiento del ecosistema y sustentabilidad. Los autores no evidencian diferencias significativas en las tasas de respiración del suelo asociadas a la cobertura del suelo y aducen que la variación temporal fue mucho mayor que la variación espacial, donde la humedad del suelo fue el mayor impulsor de la

respiración del suelo. Para este estudio se presenta una situación similar, donde es primordial la variabilidad temporal, pues la espacial tiene gran contraste por las condiciones de los bosques. La variable que más se relacionó a las emisiones de CO₂ fue la humedad relativa en bosque seco tanto para AM como PM.

7 Conclusiones

La concentración de CO₂ mostro diferencia significativa en el bosque seco en horas de la tarde con un p-value ($< 0,05$).

La variable que más se relacionó con el CO₂ fue la HR y ésta solo mostró diferencias significativas para el bosque seco permitiendo establecer un modelo de estimación para la emisión del mismo.

Las diferencias estadísticas mostradas en este estudio ayudaron a identificar cómo el bosque seco se ve más vulnerable frente a los cambios de temperatura y humedad presentes en el ambiente y lleva a suponer que este ecosistema se vería más afectado frente a los efectos del cambio climático. En caso contrario el robledal es menos susceptible a dichas variaciones lo que lo hace más resiliente frente a dicho fenómeno.

8 Recomendaciones

Se considera para futuros estudios, realizar más replicas durante un lapso mínimo de un año ya que el muestreo para robledal requiere más datos debido a su comportamiento.

Debido a que se observó que la humedad relativa muestra una correlación positiva con el CO₂, se recomienda realizar muestreos durante épocas de invierno y verano para sí obtener una información más acertada de ésta.

Se recomienda continuar con el seguimiento de la investigación con el fin de identificar a largo plazo cómo es el comportamiento de la emisión de CO₂ frente a los diferentes efectos de temperatura y humedad teniendo en cuenta estudios previos de variables de suelos como pH, textura, humedad y temperatura y su relación con el cambio climático.

Referencias Bibliográficas

- Anderson, K., Snyder, P., Twine, T., Cuadra, S., Costa, M., y DeLucia, E. (2012). Climate-regulation services of natural and agricultural ecoregions of the Americas. *Nature Climate Change*, 2(3), 177. Recuperado de <https://www.nature.com/articles/nclimate1346>
- Arenas, L. (2015). *Diseño de cámara estática cerrada y medición de flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos* (Doctoral dissertation). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Recuperado de http://bdigital.unal.edu.co/51898/1/Laura_Natalia_Arenas_Calle-2016.pdf
- Ávila, F. A., Ángel, S. P., & López, R. (2010). Diversidad y estructura de un robledal en la reserva biológica Cachalú, Encino (Santander-Colombia). *Colombia forestal*, 13(1), 87-116. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939613004.pdf>
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2). Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/33>
- Caballero, M., Lozano, S., y Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*, 8(10), 2-12. Recuperado de http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf
- Dixon, R., Solomon, A., Brown, S., Houghton, R., Trexler, M., y Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263(5144), 185-190. Recuperado de <https://science.sciencemag.org/content/263/5144/185>
- Ferreira, O. I., Rondón, M. A., & Hurtado, M. D. P. (2008). Flujos de gases de efecto invernadero del sistema agroforestal Quesungual sistema de tala y quema y del bosque secundario en el sur de Lempira Honduras. *Cgiar* 20(2). Recuperado de <https://cgispace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/21825/21825.pdf?sequence=1>
- Fernández, G. (2008). Calentamiento Global: ¿El punto de no retorno? *Humania del Sur*, 3(4), 53-70. Recuperado de <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/humaniadelsur/article/view/5178>
- FRA. (2015). *Terminos y definiciones* Documento de trabajo de la evaluación de los recursos forestales N 180. Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/3/ap862s/ap862s00.pdf>
- Gomis Yagües, V. (2008). Tema 3. Cromatografía de gases. Técnicas Instrumentales en el Análisis Industrial. Recuperado de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8247/4/T3gascromat.pdf>

- González, M., Jurado, E., González, S., Aguirre, Ó., Jiménez, J., y Návar, J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia uanl*, 6(3). Recuperado de http://eprints.uanl.mx/1287/1/cambio_climatico.pdf
- Lefevre, C., Rekik, F., Alcantara, V., y Wiese, L. (2017). Carbono orgánico del suelo el potencial Oculto. Recuperado de <http://www.fao.org/3/b-i6937s.pdf>
- Linares, R., & Fandiño, M. C. (2009). Estado del bosque seco tropical e importancia relativa de su flora leñosa, islas de la Vieja Providencia y Santa Catalina, Colombia, Caribe suroccidental. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, 33(126), 1-12. Recuperado de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33850856/5-16.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3D1-ESTADO.p65.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191125%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20191125T162402Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=b347ea89b51e754f4f92f5431c92854bcba77602a0abe2b1b4da243c5c6b1ba
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Registro REDD+ para la presentación de información de programas y proyectos denominadas en su conjunto como iniciativas REDD+. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co>.
- Palacio, A. y Hurtado, F., (2008). Respiración microbial y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4381-4393. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24738/25299>
- Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., & Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 76(3), 327-352. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009281916300551>
- Quétier, Fabien., Tapella, E., Conti, G., Cáceres, Daniel., & Díaz, Sandra., (2007). Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta ecológica*, (84-85), 17-26. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/539/53908503.pdf>
- Rey, A., Pegoraro, E., Oyonarte, C., Were, A., Escribano, P., & Raimundo, J. (2011). Impact of land degradation on soil respiration in a steppe (*Stipa tenacissima* L.) semi-arid ecosystem in the SE of Spain. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(2), 393-403. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003807171000427X>
- Serrano, E. Z., Nuñez, M., & Valleter, E. (2017). Respiración de dióxido de carbono de suelo, en bosque tropical húmedo–Gamboa Panamá. *I+ D Tecnológico*, 13(2), 49-54. Recuperado de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/1714/2450>

Vásquez, N. (2009). La variabilidad, una constante en nuestro clima. Recuperado de <http://www.cambioclimatico.org/contenido/la-variabilidad-una-constante-en-nuestro-clima>

Apéndices

Apéndice A. Establecimiento de parcelas.



Apéndice B. Toma de muestras.



*Apéndice C.**Cámaras instaladas en las parcelas.**Apéndice D.**Cromatógrafo de gases.*

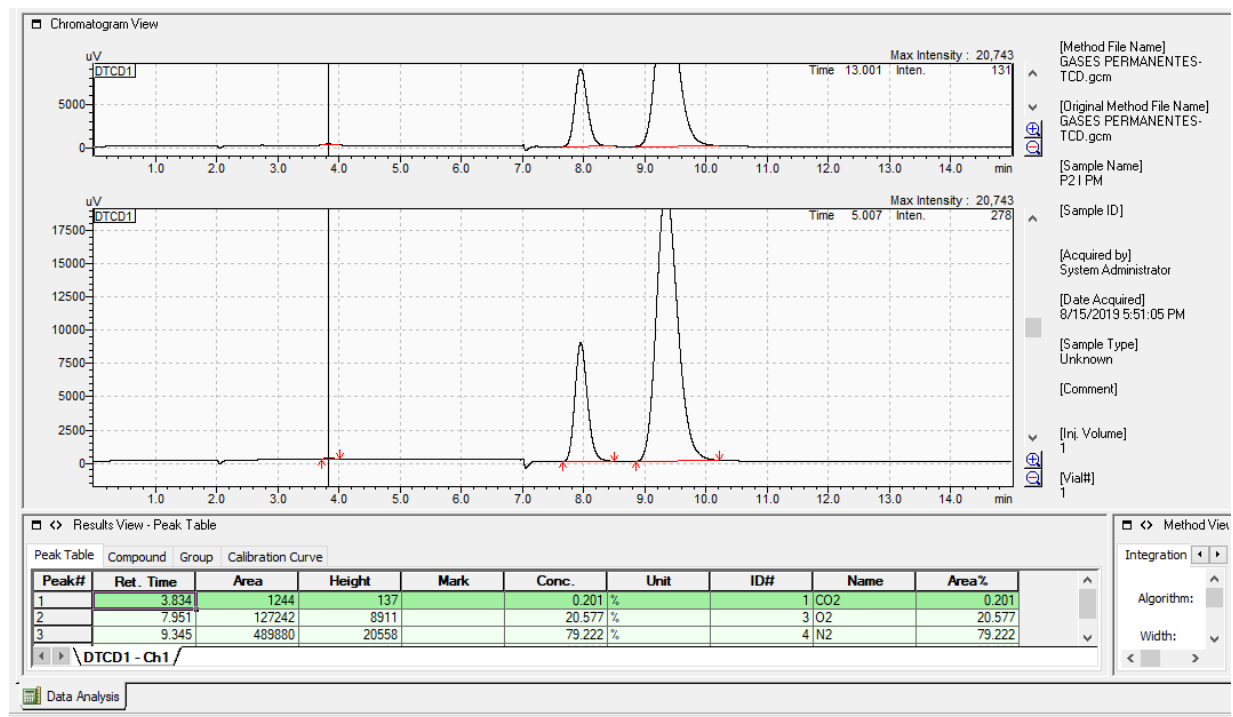
Apéndice E.

Procesamiento de muestras en laboratorio.



Apéndice F.

Cromatograma con resultados de concentraciones de gases.



Apéndice G.
Formato de campo.

[illegible]