

Evaluación del Flujo de CO₂ en suelo en Isla Barro Colorado

Evaluation of soil CO₂ efflux in Barro Colorado Island

Lourdes Sugasti B. ^{1*}, Reinhardt Pinzón ²

¹Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá,

²Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá.

¹sugasti.lourdes@gmail.com, ²reinhardt.pinzon@utp.ac.pa

Resumen— Se espera que los flujos de CO₂ del suelo de los bosques tropicales a la atmósfera aumenten debido al efecto del calentamiento global. Los estudios de las condiciones ambientales que contribuyen a este importante flujo de carbono son ahora un objetivo muy importante para todos los investigadores del cambio climático. El suelo es un medio muy complejo y puede variar espacialmente en todas las direcciones, es una tarea muy complicada. Con este estudio, buscamos respuestas sobre los factores ambientales que pueden contribuir al comportamiento del flujo de CO₂ del suelo, utilizando un método de cámara cerrada para medir el CO₂ del suelo en el bosque tropical de la isla de Barro Colorado.

Palabras claves— Flujo de CO₂ en suelo, cámara cerrada, Isla Barro Colorado.

Abstract— Soil CO₂ fluxes from tropical forests to the atmosphere are expected to increase due to the global warming effect. The studies of the environmental conditions that contribute to this important carbon flux are now a very important target for all climate change researchers. Soil is a very complex medium and can vary spatially in every direction, is a very complicated task. With this study we aim to search for answers about the environmental factors that can contribute to the behavior of soil CO₂ efflux, using a closed chamber method to measure soil CO₂ on the tropical forest of Barro Colorado Island

Keywords— Soil CO₂, efflux, closed chamber, Barro Colorado Island.

1. Introducción

El CO₂, es un gas de efecto invernadero, y su aumento en la atmósfera está relacionado a la actividad humana; representa el 60% del total de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. [1].

La mitigación de este gas es esencial para detener el cambio climático en las próximas décadas o siglos. [1]. Los países en desarrollo, son impulsados a contribuir con los esfuerzos de mitigación del cambio climático, a través de la conservación, gestión y expansión de los bosques. [2]

Desafortunadamente, la deforestación es la segunda fuente de emisión antropogénica de CO₂ a la atmósfera, después de la combustión de combustibles fósiles. La primera, representa el 6-17 % de las emisiones globales antropogénicas de CO₂ a la atmósfera [3,4].

Las reservas de carbono en los bosques tropicales, se encuentran en la biomasa aérea y subterránea.

El mecanismo de entrada del CO₂ a los bosques tropicales es a través de los procesos fotosintéticos de la

biomasa sobre el suelo. Una vez el CO₂ ingresa al bosque, empiezan los procesos metabólicos en las plantas del bosque tropical.

La liberación natural de CO₂ a la atmósfera en los bosques tropicales, se da a través de los procesos de respiración en las en la biomasa aérea y subterránea. También ocurre respiración heterotrófica por los macro y micro invertebrados presentes en el suelo. Pero, cuando los bosques son talados, el carbono almacenado sobre y bajo el suelo en: hojas, ramas, tallos y raíces, es entonces liberado a través de la combustión, descomposición de materia vegetal y del carbono en el suelo, contribuyendo así a las emisiones de gases de efecto invernadero, esto ocurre especialmente en los trópicos [3,4].

Es importante analizar y hacer un balance de las entradas y salidas de CO₂, captura neta de CO₂, para determinar si un bosque actúa como sumidero o fuente de carbono.

2.1 Flujo de CO₂ en suelo

En abril de 2016, se realizó una campaña de instalación del sistema automatizado de flujo de gas (LI-8100A, LI-COR Biosciences), que mide continuamente flujos de CO₂ en suelos a largo plazo. Este sistema instalado, consiste en cámaras cerradas dinámicas automatizadas, un multiplexor y un analizador de gas por infrarrojos de paso cerrado.

Previamente cuatro collares de PVC fueron colocados en los sitios escogidos para las mediciones, enterrados a poca profundidad. Las cámaras se instalan sobre estos collares que tienen un diámetro exterior de 20 cm y están ubicados en los vértices de un cuadrado de 20 × 20 m, centrados radial a una torre micro climática, en donde hay disponibilidad de red eléctrica; las mediciones de flujo de CO₂ se toman cada segundo durante 2 minutos después de que la cámara cierra. Se realiza una prepurga de 30 segundos y postpurga de 45 segundos para asegurar que el sistema se limpie entre cada medición [12,16].

Durante una medición, solo una pequeña porción del aire de la cámara se bombea al analizador de gas por infrarrojo para determinar la concentración de CO₂ [12]. El software del sistema calcula los resultados del flujo de CO₂ según la tasa de cambio en la concentración del gas con el tiempo dentro de la cámara y otros parámetros, realiza un ajuste por regresión utiliza según el caso una ecuación exponencial o lineal en base a R² [12].

Para este estudio se consideran todo los datos registrados a excepción de los datos obtenidos por la cámara 4 ya que sufrió un golpe brusco por caída de una rama.

2.2 Temperatura y humedad del suelo

Los datos de temperatura y humedad del suelo fueron compartidos por un grupo de investigadores del STRI que registraron mediciones en el sitio de estudio AVA cerca de la torre microclimática los datos disponibles comprenden entre enero 2016 a noviembre 2017. A continuación se detalla el procedimiento empleado por este equipo del STRI.

En Enero de 2016, dos termistores de suelo (Modelo 107, Campbell Scientific) de 10.4 cm de longitud fueron instalados permanentemente y los datos registrados con un (CR1000, Campbell Scientific) para intervalos de 5 minutos [16].

La humedad del suelo fue monitoreada por tres reflectómetros en el dominio del tiempo (TDR, Campbell Scientific, CS616) insertados verticalmente en el suelo en proximidad del sistema de cámaras automatizadas [16].

Se recogieron muestras de suelo entre 0 y 15 cm para diversas condiciones de humedad del suelo con el propósito de calibrar los TDR con las mediciones gravimétricas. La densidad aparente del suelo fue de 0,75 g/cm³, esto se hizo recolectando suelo a través de un cilindro metálico de 10,6 cm de diámetro y 15 cm de altura. Este valor se usó para transformar mediciones gravimétricas de masa a contenido volumétrica de agua en suelo [16].

2.3 Precipitación

La precipitación es registrada por el STRI en el área conocida como El Claro, en Isla Barro Colorado. El área de medición está rodeada por arboles de más de 20 metros de altura.

La precipitación se registra a través de un pluviómetro con sistema de balancín (Modelo TB3 tipping bucket, Hydrological Services), tomando datos cada 5 minutos.

3. Resultados

3.1 Flujo de CO₂ en suelo

Los resultados presentados en la Figura 2 comprenden el periodo abril 2016 hasta el 25 de enero de 2018. Entre los meses de mayo a agosto 2016 no hubo registros para ninguna de las cámaras. Luego se volvió a medir en septiembre 2016. De octubre a noviembre 2016 solo la cámara 1 registro datos.

De enero a mayo 2017 las cámaras 1, 2 y 3 registraron datos y de agosto 2017 al 25 de enero de 2018 las cámaras 1, 2 y 3 registraron datos para flujos de CO₂ en suelo.

Para el periodo de medición se registro un flujo máximo de 8.40 μmol/m²s, un mínimo de 1.11 μmol/m²s y una media de 4.36 μmol/m²s. La desviación estándar fue de 1.62 y el coeficiente de variación de 37.1 %.

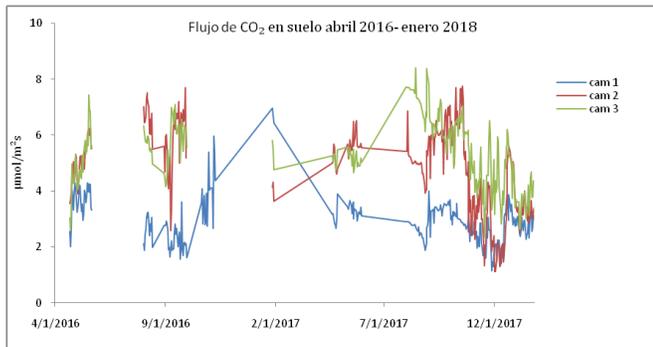


Figura 2. Flujo de CO₂ en suelo abril 2016 a enero 2018. Se presentan los resultados para el periodo de estudio, para las cámaras 1,2 y 3 ubicadas en el sitio AVA. Las unidades de flujo están en $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.

Como se observa en la Figura 2 los datos de la cámara 1 presentan registros menores que los medidos por las cámaras 2 y 3 presentando una desviación estándar de 1.62 si se comparan los datos de la cámara 1 con los datos de las cámaras 2 y 3. Entre las cámaras 2 y 3 los datos registrados presentan menos variabilidad para el periodo de estudio con una desviación estándar de 1.42.

Esta variabilidad espacial se debe a la composición y estructura del suelo del bosque y a la distribución de las raíces de los arboles cercanos a las cámaras de medición.

3.2 Temperatura del suelo

Las mediciones para la temperatura del suelo iniciaron el 21 de enero de 2016 hasta el 18 de noviembre de 2017 como se puede apreciar en la Figura 3. La temperatura máxima registrada para el periodo 27.50 °C y la mínima de 22.95 °C, la media para el periodo de registro fue de 25.40 °C, una desviación estándar de 0.69 y un coeficiente de variación de 2.70 %.

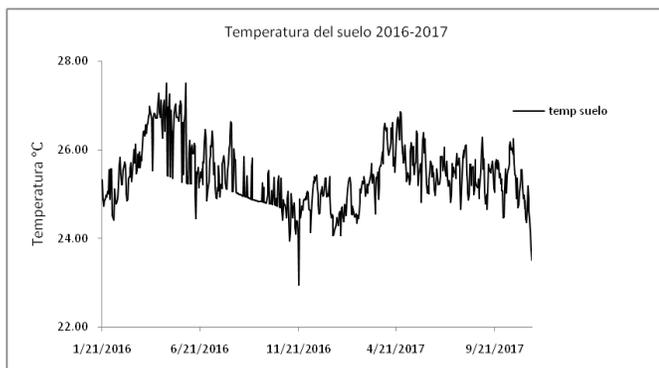


Figura 3. Temperatura del Suelo para el periodo 2016-2017.

Los datos inician en abril 2016 hasta noviembre de 2017. La temperatura se registra en ° Celsius. La temperatura del suelo disminuye durante los meses de temporada lluviosa e incrementa durante los meses de temporada seca, como se puede observar en la Figura 3, para esta gráfica solo se utilizó los registros del termistor 1.

3.3 Humedad del suelo

Los análisis de humedad del suelo se realizaron solamente con uno de los TDR, el 3, a profundidad de 100 cm en el suelo y con el ajuste por medio de la ecuación polinomial, se obtuvieron los resultados presentados en la Figura 4.

La humedad del suelo se mide en contenido volumétrico de agua en suelo. El máximo registro de humedad de suelo fue de 0.73 cm^3/cm^3 , el mínimo de 0.25 cm^3/cm^3 y una media para el periodo de 0.41 cm^3/cm^3 . La desviación estándar fue de 0.09 y el coeficiente de variación fue de 21.30 %.

En la Figura 4 se observa que la humedad del suelo aumenta durante la temporada lluviosa entre los meses de abril a finales de diciembre y disminuye durante la temporada seca entre los meses de enero y finales de abril.

Presenta un comportamiento similar durante los años 2016 y 2017, en las temporadas secas y lluviosas. La humedad fue mayor para el año 2016.

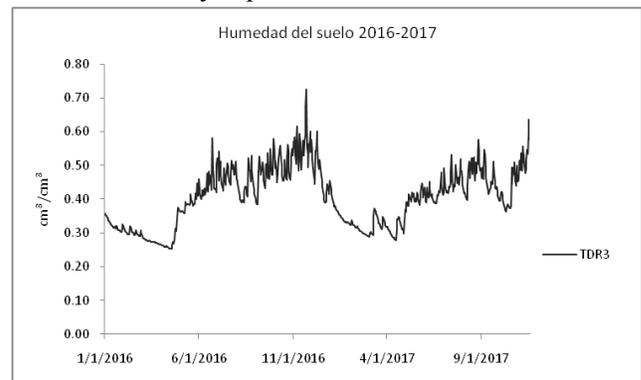


Figura 4. Humedad del suelo periodo 2016-2017. Se muestra el contenido volumétrico de agua en suelo de enero 2016 a noviembre de 2017. Las unidades se muestran en cm^3/cm^3 .

3.4 Precipitación

La precipitación se analizó para el periodo enero 2016 al 2 de enero de 2018. La precipitación acumulada diaria máxima fue de 146.3 mm y la mínima de 0.3 mm, una media de 11.4 mm para el periodo. La desviación

estándar fue de 18.1 El análisis global incluyendo temporada seca y lluviosa, no consideramos que puedan explicar las variaciones de flujo de CO₂ para el periodo 2016-2017 estudiados.

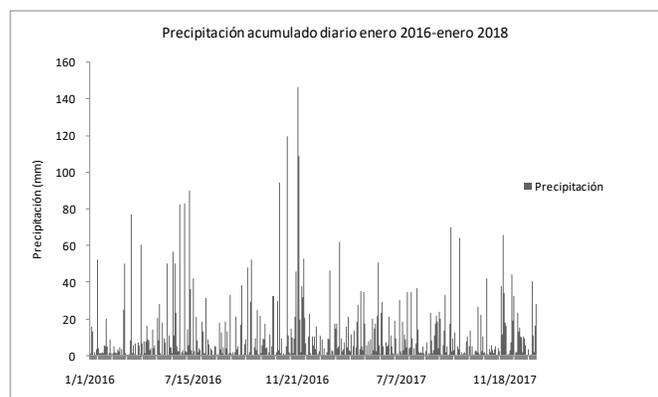


Figura 5. Precipitación para el periodo enero 2016 al 2 de enero de 2018. En el gráfico se observan los patrones entre las temporadas lluviosas y secas. La gráfica muestra el acumulado diario en mm de lluvia.

Como se puede apreciar en la Figura 5, los meses de las temporadas lluviosas de abril a diciembre, se presentan los picos máximos, el año 2016 fue un año con mayor acumulado diario para precipitación en contraste con el año 2017. Cabe mencionar que para principios de enero 2018 se registraron lluvias con mayor frecuencia en comparación con el año 2017.

4. Discusión y conclusiones

Al evaluar y analizar el comportamiento del flujo de CO₂ en suelo para el periodo 2016-2017, incluyendo periodo seco y lluvioso en conjunto con las variables ambientales a través de R², cuyos resultados se muestran en la Tabla 1, encontramos correlaciones positivas para las variables ambientales y el flujo de CO₂, para el periodo completo 2016-2017, siendo la humedad la de mayor correlación con los cambios en los flujos de CO₂, sin embargo los valores de R² no son mayores de 0.5.

El transporte del flujo de CO₂ en suelo depende también de características físicas del suelo como lo son: la porosidad, estructura del suelo, macro poros, etc. Estos dependen también de las condiciones ambientales, es un vínculo estrecho y complejo entre los factores bióticos y abióticos del suelo y las fluctuaciones de flujo de CO₂ en suelo.

Haciendo una comparación, se separaron la temporada seca de la temporada lluviosa y se analizaron para el periodo 2017, ya que los registros están completos. Obtuvimos los resultados que se muestran también en la Tabla I. Las correlaciones resultaron positivas para las dos temporadas 2017, siendo la temperatura durante la temporada seca el factor ambiental que muestra mayor relación con los cambios en los flujos de CO₂ y la humedad del suelo el factor ambiental de mayor relación durante la temporada lluviosa 2017.

Mediante un análisis estadístico de prueba T de Student, Tabla II, para analizar si existía algún cambio en el patrón de flujo de CO₂ para el promedio registrado por las 3 cámaras durante el año 2017, pudimos concluir que no se puede rechazar la hipótesis nula, no se puede negar o afirma que exista un cambio en el patrón de flujo de CO₂ entre las temporadas seca y lluviosas para el periodo de estudio del año 2017.

Tabla 1. Coeficiente R² para flujo de co₂, temperatura del suelo humedad del suelo y precipitación.

	Periodo 2016- 2017	Temporada seca 2017	Temporada lluviosa 2017
Flujo de CO ₂ vs temperatura del suelo	0.06	0.56	0.12
Flujo de CO ₂ vs Humedad del suelo	0.10	0.13	0.14
Flujo de CO ₂ vs Precipitación	0.01	0.06	0.01

Al estudiar el promedio de las cámaras no se encuentra una diferencia en el patrón de flujo de CO₂, al observar la Figura 2, se puede visualizar un patrón de disminución por cámara a medida que avanza la temporada lluviosa. Pero en conjunto al promediar los resultados de las cámaras este patrón no se reflejó en la prueba estadística.

Tabla 2. Prueba T de student para muestras independientes, dos colas, varianzas desiguales.

Grados de libertad 15, diferencia hipotética de las medias 0, alfa 0.05	Periodo seco 2017	Periodo lluvioso 2017
media	4.68	4.41
varianza	0.26	1.01
T estadístico	1.55	
T crítico	2.13	

Las tasas de pérdida de C están controladas por la progresión estacional del suelo en cuanto a temperatura y humedad del suelo, y puede disminuir en algunos suelos pero no en otros con los futuros aumentos en el CO₂ atmosférico [17].

La temperatura y la precipitación, para el periodo de estudio 2016-2017 realizado en Barro Colorado, parecen no influir de manera directa con la pérdida de C a través del flujo de CO₂ en suelo, pero al analizar solamente el año 2017, encontramos otros resultados. Es necesario un estudio a largo plazo para poder analizar de mejor manera la variabilidad estacional y espacial del flujo de CO₂ en suelo.

Los resultados obtenidos hasta el momento no son concluyentes en cuanto a los patrones de aumento o disminución del flujo de CO₂ en suelo durante las temporadas secas y lluviosas. Se necesitan analizar otras variables físicas del suelo y el rol de estas en la dinámica del flujo de CO₂ en suelo, analizar eventos puntuales de cambio en el patrón de lluvias y temperatura.

Los resultados en un estudio realizado [18] muestran que la respiración del suelo en los bosques maduros y bosques secundarios maduros es mayor que para los bosques secundarios jóvenes [18].

Una de las estrategias de mitigación del cambio climático es la expansión y conservación de los bosques, de esta manera se logrará reducir el CO₂ antropogenico en la atmosfera al existir mayor cantidad de materia vegetal para capturarlo y fijarlo en los ecosistemas de bosques especialmente en los trópicos.

El análisis de las dinámicas de los flujos de CO₂ son importantes y vincular los factores ambientales que influyen es fundamental. En nuestro estudio las variaciones en la temperatura del suelo muestran relación positiva con las variaciones en el flujo de CO₂ en suelo para el periodo seco 2017 en BCI.

En una investigación realizada en laboratorio, la temperatura óptima que se ha observado para la descomposición microbiana en la capa superior del suelo es 30°C, cuando la temperatura es mayor a esta se reduce la respiración microbiana [19], por lo que la temperatura juega un rol importante en la dinámica de la respiración del suelo.

Se podría explicar entonces que al aumentar la temperatura del suelo disminuiría la producción de CO₂ en el suelo y por lo tanto disminuiría la concentración de CO₂ y así el flujo de CO₂ a la superficie del suelo disminuiría. No siempre un aumento en la temperatura está relacionado con una disminución de flujo de CO₂ en el suelo. Los estudios para bosques tropicales son ambiguos en sus conclusiones.

Estudios señalan que un clima más cálido afectará tanto a la producción primaria bruta como a la respiración del ecosistema de los bosques tropicales, lo que resultará en un comportamiento en donde se reducirán los sumideros de carbono. Estudios de aclimatación fisiológica de la fotosíntesis, el suelo y la respiración foliar son fundamentales para determinar la probabilidad de mitigar este potencial y de estudiar la liberación de carbono a la atmósfera con el continuo factor del calentamiento global [20,21].

Cada bosque en particular depende de un delicado balance de un sin número de condiciones bióticas y abióticas que afectan a la biomasa subterránea, los microorganismos, las características físicas del suelo y que estos en conjunto influyen en el aumento y disminución de la concentración de CO₂ en el suelo y por lo tanto influyen en la variación de los flujos de CO₂ en la superficie del suelo.

Los incrementos de la humedad del suelo no siempre conllevan a un aumento de producción y de concentración de CO₂ en suelo [22]. Como hemos podido observar en la prueba R² para la humedad y flujo de CO₂ en suelo, la variación del flujo de CO₂ en suelo tiene mayor correlación positiva durante la temporada lluviosa 2017 y durante el periodo 2016-2017. Desde el

punto de vista del periodo de estudio 2016-2017, se puede concluir que la humedad juega un papel de mayor importancia en las variaciones del flujo de CO₂.

Al analizar los datos durante los meses más avanzados de la temporada lluviosa disminuye el flujo de CO₂ considerablemente, sin embargo durante las primeras lluvias de transición de la temporada seca a lluviosa, aumentan los flujos de CO₂ en suelo.

La disminución de la precipitación aumenta el flujo de CO₂ en suelo, Una de las razones por las que la disminución de la precipitación podría influir en el flujo de CO₂ en suelo está relacionada con la respuesta del flujo de CO₂ a la humedad [23].

Otro estudio también sugiere que un aumento en la temperatura y en la precipitación aumentarían los flujos de CO₂ del suelo en el futuro [24].

5. Conclusiones

Para el periodo de estudio 2016 - 2 de enero de 2018, en donde se estudió el flujo de CO₂ a través de cuatro cámaras cerradas de medición de flujo de CO₂, los patrones de flujo durante temporada seca y lluviosa 2017 no se pudieron distinguir o concluir con un patrón de aumento o disminución debido a factores ambientales.

La precipitación, la humedad del suelo y la temperatura del suelo, mostraron correlaciones positivas con las variaciones estacionales del flujo de CO₂. Siendo la temperatura para la temporada seca 2017 el factor con mayor correlación y la humedad del suelo durante la temporada lluviosa el factor con mayor correlación a las variaciones del flujo de CO₂ suelo.

Durante el periodo 2016-2017, se puede concluir que la humedad juega un papel de mayor importancia en las variaciones del flujo de CO₂.

La media de flujo de CO₂ para el periodo fue de 4.36 μmol/m²s. Los flujos cuantificados fueron sorprendentemente bajos a lo que se esperaba para este tipo de bosque tropical.

6. Agradecimientos

Agradecemos al personal del CIHH de la Universidad Tecnológica de Panamá por la ayuda brindada, al Dr. M. Detto por los datos compartidos y a la Secretaria Nacional de Ciencias y Tecnología por el apoyo económico al proyecto INF10-025.

7. Referencias

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change Working group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC. pp: 122.
- [2] United Nations, Protocolo de Kioto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, 1998.
- [3] Van der Werf G., Morton D., DeFries R., Oliver J., Kasibhatla P., Jackson R., Collatz G. y Randerson J., CO₂ emissions from forest loss, Nature Geoscience, Mcmillan Publishers Limited, pp: 737-738, 2009.
- [4] Baccini A., et al, Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon density maps. Nature Climate Change. pp: 182-185, 2012.
- [5] Law R., Interpreting, measuring and modelling soil respiration, 2005.
- [6] Fang, Moncrieff, A model for soil CO₂ production and transport 1: Model development, Agricultural and Forest Meteorology, pp:225-236, 1999.
- [7] Eswaran, et al, Organic carbon in soils of the world, Soil Sci. Soc. Am. J. 57, pp:192-194, 1993.
- [8] Scharlemann J., et al., Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool, Future Science, pp: 81-91, 2014.
- [9] Grimm R., Behrens T., Märker M., Elsenbeer H., Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island – digital soil mapping using random forest analysis, Geoderma, Elsevier, pp: 102-113, 2008.
- [10] Davidson E., Trumbore S., Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils of eastern Amazon, Tellus, 1995.
- [11] Fang C., Moncrieff J., The dependence of soil CO₂ efflux on temperature, Soil Biology & Biochemistry 33, pp:155-165, 2001.
- [12] LI-8100A Automated Soil Gas Flux System, A Rugged System for Dependable Results, LI-COR® Biosciences.
- [13] Leigh E., et al, The ecology of a tropical forest seasonal rhythms and long-term changes, Publicado por Smithsonian, 1996.
- [14] Woodring W. Manuscrito, Geology of Barro Colorado Island, Canal Zone, publicado por Smithsonian Institution, 1958.
- [15] Leigh E., Tropical forest ecology, a view from Barro Colorado Island, Oxford University Press, 1999.
- [16] Rubio, Detto, Spatio temporal variability of soil respiration in a seasonal tropical forest, Ecology and Evolution Wiley, 2017.
- [17] Fay et al, The CO₂ losses from grassland soils: effects of atmospheric CO₂ enrichment and implications for climate change adaptation., ASABE, 2015.
- [18] Aryal et al, Soil Organic Carbon Stocks and Soil Respiration in Tropical Secondary Forests in Southern Mexico, chapter 20.
- [19] Hashimoto S., Komatsu H., Relationships between soil CO₂ concentration and CO₂ production, temperature, water content, and gas diffusivity: implications for field studies through sensitivity analyses, J For Res 11 pp.: 41-50, 2006.

- [20] Cavaleri et al, Tropical rainforest carbon sink declines during El Niño as a result of reduced photosynthesis and increased respiration rates, *New Phytologist*, 2017.
- [21] Miko, Kirschbaum. The temperature dependence of soil organic Matter decomposition, and the effect of Global warming on soil organic c storage, *Soil Bid. Biochem.* Vol. 27. No. 6, pp.: 753-760, 1995.
- [22] Kursar T., Evaluation of soil respiration and soil CO₂ concentration in a lowland moist forest in Panama. *Plant and Soil.* Kluwer Academic Publishers. Pp: 21-29, 1989.
- [23] Vicca et al, Can current moisture responses predict soil CO₂ efflux under altered precipitation regimes? synthesis of manipulation experiments, *Biogeosciences Discuss.*, 11, pp.: 853–899, 2014.
- [24] McDaniel et al, Climate change interactions affect soil carbon dioxide efflux and microbial functioning in a post-harvest forest, *Global change ecology, Oecologia*, 2013.