



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revencty
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



REVISTA TÉCNICA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Hacia los 130 años de creación de la Universidad del Zulia

"Buscar la verdad y afianzar los valores trascendentales", misión de las universidades en su artículo primero, inspirado en los principios humanísticos. Ley de Universidades 8 de septiembre de 1970.

Hybrid proposal for capture and measurement of edaphic CO₂ using static incubation chambers and gas sequestration techniques

Karen Jennifer Ostaiza Demera^{1*} , Emilio José Jarre Castro² , Henry Antonio Pacheco Gil² , Ezequiel Zamora-Ledezma² 

¹Maestría en Ingeniería Agrícola, Instituto de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí. Av. Urbina con Che Guevara. Portoviejo, Ecuador. CP. 130105.

²Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Técnica de Manabí. Av. Urbina con Che Guevara. Portoviejo, Ecuador. CP. 130105.

*Autores de correspondencia: ezamora@utm.edu.ec; kostaiza4737@utm.edu.ec.
<https://doi.org/10.22209/rt.ve2020n2a05>

Recepción: 19/02/2020 | Aceptación: 29/05/2020 | Publicación: 31/07/2020

Abstract

The carbon dioxide (CO₂) is considered one of the most important greenhouse gases due to its direct relationship with climate change. These gases are generated from anthropogenic activities such as the use and exploitation of fossil fuels; however, agriculture and livestock represent an important source of emission. Natural and agricultural systems play a fundamental role in the carbon balance, especially at the soil level. It is important to establish simple and low-cost protocols that allow monitoring this gas from different ecosystems. This work aims to evaluate the edaphic CO₂ by combining static incubation chambers manufactured in the laboratory and sequestration with alkali traps. The CO₂ emissions were evaluated from four ecosystems: cotton, cocoa, dry forest, and bare soil. Meteorological parameters and some physical-chemistry soil properties were analyzed. Significant differences were found in the CO₂ emissions between the four systems (F= 68.07; P<0.001), demonstrating the potentiality of the proposed methodology. No relationships were found between soil respiration, edaphic properties neither on meteorological variables. This study shows the feasibility of the proposed methodology as a practical and reliable alternative face to complex and economically expensive foreign technologies.

Keywords: greenhouse gases (GHG); methodology; emission factors.

Propuesta híbrida para la captación y medición de CO₂ edáfico empleando cámaras de incubación estáticas y secuestro de gases

Resumen

El dióxido de carbono (CO₂) es considerado uno de los gases de efecto invernadero más importante por su relación directa con el cambio climático. Estos gases son generados principalmente en actividades antrópicas como el uso y explotación de combustibles fósiles; sin embargo, la agricultura y ganadería representan una fuente importante de emisión. Los sistemas naturales y agrícolas juegan un rol fundamental en el balance de carbón especialmente a nivel del suelo. Es importante establecer protocolos sencillos y de bajo costo que permitan el monitoreo de este gas en diferentes ecosistemas. Se propone evaluar el CO₂ edáfico combinando cámaras de incubación estáticas fabricadas en el laboratorio y secuestro con trampas álcali. Se estudiaron las tasas de emisión de CO₂ en cuatro sistemas: algodón, cacao, bosque seco y suelo sin vegetación. Se analizaron parámetros meteorológicos y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Se encontraron diferencias significativas en las tasas de emisión de CO₂ entre los cuatro sistemas (F= 68,07; P<0,001), demostrando la potencialidad de la metodología. No se encontraron relaciones entre la respiración del suelo, propiedades edáficas y variables meteorológicas. El estudio evidenció la factibilidad de la metodología mixta frente a otras más complejas y costosas.

Palabras clave: gases efecto invernadero (GEI); metodología; factores de emisión.

Introducción

A nivel mundial, el aumento desmesurado de la población y el desarrollo de tecnologías ha sido el agente principal en la generación de impactos ambientales en el planeta y en la salud humana [1]. El cambio climático ha sido la prueba manifiesta del impacto de las actividades antropogénicas, ya que ha sido ampliamente evidenciado que existe un aumento progresivo de la temperatura a nivel global posterior a la revolución industrial [2].

La principal causa del calentamiento global es el aumento de moléculas gaseosas en la atmósfera conocidas como gases efecto invernadero (GEI), debido su propiedad de absorber radiación [3], entre los principales GEI se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4). Estos gases pueden ser de origen natural y antrópico. Entre las principales fuentes de emisión antrópica se encuentran los sectores energético, transporte, agricultura-ganadería y aquellas ocasionadas como consecuencia de cambios de usos de la tierra [4]. De acuerdo al Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en las tres últimas décadas se ha demostrado que los GEI han aumentado su concentración alrededor de un 80% [5-8]. El dióxido de carbono (CO_2) es considerado el gas de mayor importancia debido al aumento de su concentración atmosférica, generada principalmente por la quema de combustibles fósiles [9], pasando de 280 ppm en el año 1750 (era pre-industrial) a 403,6 ppm en el 2017 [10].

La agricultura y las actividades agropecuarias son reconocidas como causantes principales del incremento de CO_2 en la atmósfera, después de la quema de combustibles fósiles [5,11]. Aun ante este contexto la producción agrícola es fundamental para el sustento de muchos grupos sociales, especialmente en los países en desarrollo [7].

Existen distintas metodologías y equipos para determinar la concentración de CO_2 edáfico [12-15], incluso hay una proliferación de equipos portátiles con mucha precisión y ventajas operativas [16] que los hace muy competitivos frente a equipos clásicos; sin embargo, sus altos costos y complejo mantenimiento los vuelven poco accesibles. Ante la diversidad de equipos y metodologías, en América Latina y en la mayoría de países considerados en vías de desarrollo, aún existen brechas tecnológicas y económicas que limitan enormemente el acceso a equipos sofisticados y la subsecuente implementación de metodologías que permiten tener una trazabilidad de GEI edáficos.

Para sortear estas limitantes tecnológicas y metodológicas se han desarrollado procedimientos alternativos simples, de bajo costo y adaptables a diferentes condiciones, que generan resultados confiables, aunque en muchos casos requieren de mayor trabajo y tiempo de respuesta. Un ejemplo de esto, es la clásica

metodología de captación de CO_2 *in situ* empleando agentes químicos secuestrantes (líquidos y sólidos) con ayuda de dispositivos de almacenamiento de gases (cámaras) [17]. Otros autores proponen mediciones en laboratorio, basados en el mismo principio químico de secuestro de gases empleando respirómetros e incubaciones en condiciones controladas, donde se determina la absorción del CO_2 en una solución de hidróxido de potasio (KOH), a través de ecuaciones estequiométricas [18,19]. Sin embargo, como se mencionó antes, la metodología mayormente usada a nivel mundial para la captación de GEI edáficos es la cámara de incubación [20,21] y se combina con diferentes equipos o procedimientos para su posterior medición o cuantificación.

En América Latina y en otras regiones del mundo, existe aún mucho desconocimiento sobre las tasas de GEI que se emiten a la atmósfera, en función de los diferentes usos de la tierra o de las condiciones físico-naturales de los ecosistemas [22]. Ecuador y especialmente la Provincia de Manabí, no escapan a esta realidad, evidenciándose un escaso número de estudios experimentales enfocados a cuantificar los aportes de CO_2 en diferentes sectores productivos.

Considerando la necesidad de proponer e implementar metodologías que permitan el monitoreo y medición de los objetivos de desarrollo sustentable (ODS) [23,24], se justifica el desarrollo de investigaciones que generen métodos, datos y conocimiento sobre las dinámicas diferenciadas de emisiones de GEI a escala local. El objetivo de esta investigación fue combinar las metodologías de captación de CO_2 edáfico empleando cámaras de incubación estáticas fabricadas en el laboratorio y el secuestro químico con trampas de KOH, para obtener las tasas de emisión en cuatro ecosistemas (agrícolas y naturales) de la Provincia de Manabí, Ecuador, la cual es considerada como potencia agrícola, pesquera, ganadera y agroindustrial.

Materiales y métodos

Área de estudio

Ecuador se encuentra ubicada al noroeste de Sudamérica, tiene una superficie de aproximadamente de 256,370 km^2 y cuenta con cuatro regiones que se caracterizan por tener diferentes climas determinados por su altitud y ubicación (Sierra, Costa, Amazonia e Insular) [25,26]. En la Región Costa se encuentra Manabí con una extensión geográfica de 18,780 km^2 (Figura 1) la cual tiene una actividad agropecuaria muy importante [25], con una temperatura promedio de 25 oC y exhibe un clima subtropical entre seco y húmedo [27].

El Cantón Santa Ana, tiene grandes formaciones montañosas y ríos, amplias extensiones de caña guadua (*Guadua angustifolia*) y otras plantas, así como también, muchos recursos forestales e hídricos. Este Cantón provee

productos agropecuarios como arroz, maíz, cacao, café, yuca, hortalizas y ganado vacuno, que se distribuyen en Manabí y otras provincias vecinas [25]. La Parroquia Lodana presenta una precipitación media anual de 550 mm, una altitud de 44 msnm, temperatura promedio de 24,6 °C, suelos clasificados como vertic ustropets, humedad relativa promedio de 82% y categoría de bosque seco pre-montano subtropical.

Ecosistemas evaluados

El presente estudio se realizó en cuatro sistemas ubicados en los predios de las Facultades de Ingeniería Agrícola y Agronómica, Universidad Técnica de Manabí. Los sistemas fueron seleccionados en función de las características físico-naturales contrastantes, la seguridad en las zonas, las facilidades logísticas de acceso y la posibilidad de efectuar un monitoreo rápido. Los cuatro sistemas establecidos para el estudio fueron: a) algodón (*Gossypium hirsutum* L.); b) cacao (*Theobroma cacao* L.); c) bosque seco; y d) suelos sin vegetación (Figura 1).

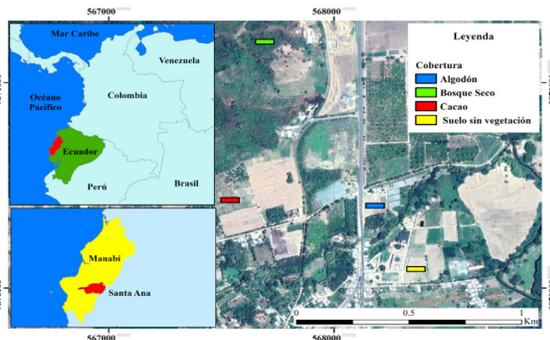


Figura 1. Ubicación relativa de la Provincia Manabí, el Cantón Santa Ana y las parcelas seleccionadas para el estudio. Las parcelas en cada sistema evaluado se identificaron con colores: algodón (azul), bosque seco (verde), cacao (rojo) y suelo sin vegetación (amarillo).

Cámaras de incubación estática

Las cámaras fueron fabricadas empleando tubos de policloruro de vinilo (PVC) de alta densidad de 30 cm de diámetro interno y 1,2 mm de espesor, a los cuales se le realizaron cortes transversales para obtener secciones cilíndricas de 10 cm de altura (Figura 2). Cada sección fue sellada en la cara superior con una mica de polímero transparente de 4 mm de espesor. La tapa superior se perforó para colocar un nepló con tapón plástico de 3/4 pulgada (Figura 3).

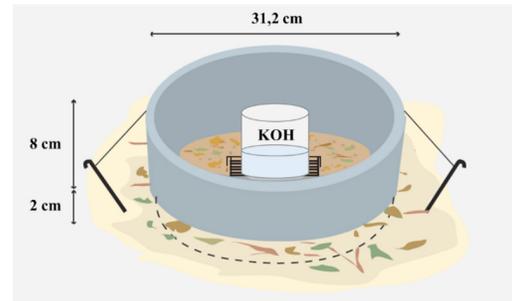


Figura 2. Esquema gráfico de la cámara fabricada adaptada de Keith y Wong [28].



Figura 3. Imagen de la cámara fabricada colocada en uno de los sitios de estudio (algodón) antes (a) y después (b) de la incubación por 24 h.

Diseño experimental

En cada sistema seleccionado se estableció una parcela de 20 x 70 m (1400 m²), dentro de la cual se realizó un transepto de 50 m de longitud donde se colocaron seis cámaras de incubación con un espaciado de 10 m entre una cámara y otra (Figura 4).

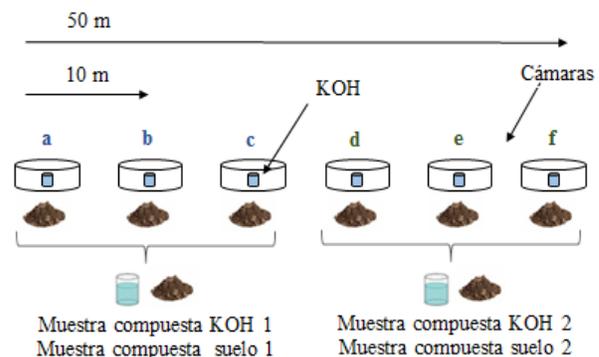


Figura 4. Diseño experimental y disposición de las seis cámaras de incubación de CO₂ (a-f) sobre un transepto de 50 m. Las muestras compuestas de KOH y suelo, se obtuvieron mezclando y homogenizando tres muestras simples (a-c/d-f).

Instalación de dispositivos y recolección de muestras

Se colocó un envase de vidrio con 10 mL de solución de hidróxido de potasio (KOH 0,1 N), inmediatamente después se instalaron las cámaras a una profundidad de 2 cm. Este paso se repitió exactamente igual para las seis cámaras. Habiendo completado la instalación, se esperaron 24 h de incubación para retirar las cámaras, se trasvasó el KOH incubado a recipientes con tapa de cierre hermético y luego se trasladaron bajo refrigeración al Laboratorio de Química y Biotecnología, Universidad Técnica de Manabí. Las muestras de suelo fueron recolectadas una vez que se retiraron las cámaras (después de 24h de incubación), en el lugar donde se encontraba instalada cada una de estas, obteniéndose un total de seis muestras por sistema.

Características físico-químicas del suelo

Las muestras compuestas de suelo por sistema evaluado, fueron obtenidas de la misma manera que se obtuvieron las muestras compuestas de KOH (Figura 4) mezclando tres submuestras, de este modo se obtuvieron dos muestras compuestas por sistema.

Textura: se utilizó el método de bouyoucos basado en la Ley de Stokes [29,30]. Una vez obtenidas las clases texturales, se aplicó la clasificación de suelos estándar para identificar su respectiva clase textural. *Densidad aparente:* se empleó el procedimiento de la probeta adaptado del método ASTM D4531-15 [29,31] *pH, conductividad eléctrica y salinidad:* se utilizó un equipo multiparámetro HACH modelo HQ40D, en el cual se analizaron los extractos de suelo obtenidos a partir de mezclas homogéneas (1:1) utilizando agua destilada como solubilizador [32-34].

Mediciones de dióxido de carbono edáfico

En el laboratorio, se procedió mezclar y homogeneizar las muestras de KOH de las tres primeras cámaras (a-c) para obtener una muestra compuesta 1 y seguidamente se realizó el mismo procedimiento mezclando las muestras de KOH de las cámaras restantes (d-f) (Figura 4).

El contenido de cada muestra compuesta (KOH incubado) fue registrado su volumen y trasferido a un vaso precipitado (25 mL), donde se añadieron dos gotas de fenolftaleína como indicador colorimétrico y se mantuvo en agitación sobre una plancha termo-magnética a una velocidad de 450 rpm. Seguidamente se realizaron las titulaciones ácido-base con HCl 0,1 N siguiendo la metodología estándar establecida para tal fin [35]. Para obtener la tasa de generación diaria de CO₂ (mg), se

empleó la Ecuación 1:

$$\text{mg de CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} = [(B - V) \times N \times Z] \quad (1)$$

Donde B: volumen de HCl (mL) utilizado para el control abiótico; V: volumen de HCl (mL) utilizado para cada muestra problema; N: normalidad del HCl (0,1 N) y Z: peso mili-equivalente del CO₂. La relación de gas diario por unidad de área (mg CO₂ · día⁻¹ · m⁻²), se obtuvo empleando el área que ocupó la cámara de incubación (0,070 m²).

Variables meteorológicas

Se tomaron datos de la humedad relativa (HR), la temperatura del aire y suelo como variables meteorológicas. Estas fueron obtenidas de la estación meteorológica "La Teodomira", que cuenta con el aval y el procesamiento oficial del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador [36].

Procesamiento y análisis estadístico de los datos

Los datos fueron procesados para obtener estadísticas descriptivas. Las variables meteorológicas fueron promediadas a partir de tres valores de registro obtenidas cada uno de los días en que se realizaron las incubaciones. Se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) colocando el CO₂ como variable dependiente y los cuatro sistemas evaluados como variables independientes. Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre variables y luego se aplicó un siguiente análisis de correlación (Spearman) para validar los resultados. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) considerando las variables: CO₂, densidad aparente, humedad relativa, pH, salinidad, temperatura del aire y del suelo. Los análisis estadísticos se realizaron usando el programa STATGRAPHICS Centurion XVI versión 16,2.

Resultados y discusión

Los promedios y errores estándar de las variables físicas, químicas y biológicas (respiración) del suelo, así como los parámetros meteorológicos se muestran en la Tabla 1.

Se determinó que la densidad aparente promedio representó a suelos bien constituidos y equilibrados a nivel de granulometría o tamaño de partículas (1,03 a 1,24 g·cm⁻³), con un pH promedio cercano a 6 (ligemente ácido), lo cual favoreció el desarrollo de muchos cultivos y otras especies vegetales (Tabla 1). La conductividad eléctrica y salinidad resultaron bajos (<200µS·cm⁻¹; <0,06 ppt, respectivamente), lo que implicó que los suelos evaluados no tenían problemas de salinización o sodificación.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de las variables físicas, químicas y biológicas del suelo, y los parámetros meteorológicos. Se presentan promedios, rango de valores y la mediana de todos los parámetros.

Variables	Promedio ± Error Estándar	Rango de valores	Mediana
Densidad aparente (g·cm ⁻³)	1,16 ± 0,03	1,03 - 1,24	1,20
pH	6,00 ± 0,62	2,54 - 7,10	6,89
Conductividad eléctrica (μS·cm ⁻¹)	153,40 ± 11,20	99,60 - 190,40	157,10
Salinidad (ppt)	0,059 ± 0,004	0,04 - 0,07	0,06
Respiración edáfica (mg-CO ₂ ·día ⁻¹ ·m ⁻²)	90,00 ± 15,60	40,20 - 139,00	92,70
Humedad relativa (%)	75,00 ± 2,37	65,00 - 85,50	73,50
Temperatura del suelo (°C)	32,21 ± 0,89	29,10 - 36,40	32,15
Temperatura del aire (°C)	26,33 ± 0,36	24,70 - 27,00	26,80

La producción de CO₂ edáfico osciló entre 40,2 y 139 mg de CO₂·día⁻¹·m⁻², lo cual guardó relación con valores equivalentes reportados previamente en diferentes localidades del mundo, incluyendo zonas tropicales [11,15,37-39].

Con respecto a las variables meteorológicas analizadas, se pudo observar un patrón estable con rangos de variabilidad normal para la época del año en que fueron realizados los experimentos, obteniéndose oscilaciones de 65 a 85% de humedad relativa, temperaturas del suelo de 29 a 36 °C y temperaturas del aire que variaron de 24 a 27 °C (Tabla 1).

Adicionalmente, se realizaron análisis granulométricos (datos no mostrados) que permitieron identificar los suelos estudiados en tres clases texturales: a) algodón: franco-arenoso-arcilloso; b) bosque seco y suelo sin vegetación: arcilloso-arenoso; y c) cacao: franco-arenoso.

Validación de la propuesta metodológica híbrida

Se calcularon los promedios de emisión de CO₂ del suelo en cada sistema, obteniéndose el siguiente ranking: suelo sin vegetación (137 mg·día⁻¹·m⁻²) > bosque seco (122 mg·día⁻¹·m⁻²) > cacao (60 mg·día⁻¹·m⁻²) > algodón (41 mg·día⁻¹·m⁻²) (Figura 5).

Para evidenciar si la metodología permite diferenciar las concentraciones de CO₂ entre un sistema y

otro, se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA), obteniéndose un valor F= 68,07 con una P< 0,001. Esto demostró que hubo diferencias significativas entre los promedios de emisión de CO₂ en los cuatro sistemas (Figura 5).

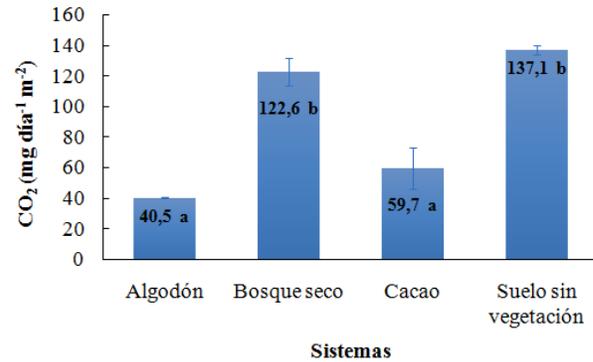


Figura 5. Producción de CO₂ edáfico en los sistemas evaluados después de 24 h de incubación. La línea sobre las barras muestra el error estándar del promedio para cada sistema. Letras distintas representan diferencias significativas (P<0,001).

Estas tasas de emisión fueron coherentes con estudios previos donde se demostró que hubo altos niveles de CO₂ edáfico en bosques secos tropicales con relación a otros ecosistemas [16,22,37,40,41].

Se aplicó análisis de correlación de Pearson para verificar el grado de asociación entre las variables físicas y químicas del suelo, la respiración edáfica y las variables meteorológicas, pero no se obtuvieron coeficientes altos entre el CO₂ edáfico y dichas variables, de modo que en las condiciones evaluadas, no se pudo encontrar ninguna relación clara. Adicionalmente, se aplicó un siguiente análisis de correlación de Spearman que permitiera, obtener un resultado menos sensible a valores aberrantes (outliers), pero tampoco se hallaron relaciones estadísticamente significativas.

Se realizó un ACP incluyendo como variables: CO₂, densidad aparente (DA), humedad relativa (HR), pH, salinidad, temperatura del aire (Temp aire) y del suelo (Temp suelo) (Figura 6). Este análisis recogió más del 71,6% de la variabilidad en CP1 (37,7%) y CP2 (33,9%). Se observó un gradiente edafológico sobre el CP1 (DA, pH y salinidad); y un gradiente meteorológico (temperaturas y HR) alineado al CP2. Ninguna variable presentó relación con el CO₂; sin embargo, hubo un indicio de una potencial relación con la densidad aparente y el nivel de salinidad del suelo, ya que ambas propiedades del suelo se ubicaron en el mismo cuadrante del CO₂ y se encontraron asociadas al sector positivo del CP1. Esta relación entre respiración y propiedades del suelo ha sido reportado con anterioridad [17,19,29,42,43]

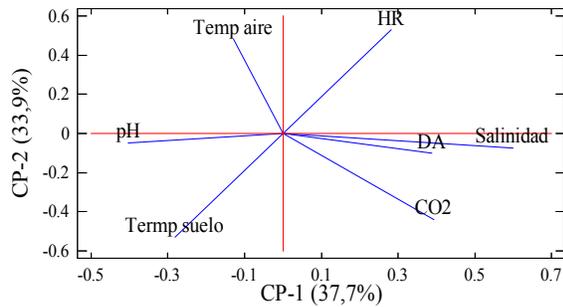


Figura 6. Análisis de componentes principales (ACP) incluyendo las variables las variables: CO_2 , densidad aparente (DA), humedad relativa (HR), pH, salinidad, temperatura del aire (Temp aire) y del suelo (Temp suelo).

Los resultados aquí descritos revelaron que efectivamente fue posible encontrar diferencias significativas entre los sistemas evaluados; no obstante, se hace necesario seguir aplicando la metodología obteniendo mayor número de datos, explorando otros ecosistemas naturales e intervenidos, para hacerlo más robusto y poder entonces realizar estudios más profundos como flujos y balances de carbón edáfico, establecer factores de emisión de CO_2 y, de ser necesario, proponer medidas mitigativas y adaptativas frente al cambio climático a escala local y nacional.

Conclusiones

El presente estudio demuestra por primera vez que el uso combinado de cámaras de incubación estáticas de fabricación propia y metodologías analíticas clásicas como secuestro de gases con trampas de álcali, y el subsecuente proceso de titulación ácido-base, permiten captar y cuantificar gases efecto invernadero edáficos de manera práctica, relativamente sencilla y con un bajo presupuesto, venciendo barreras tecnológicas y económicas para avanzar en el desarrollo de estudios sobre las dinámicas de GEI como el CO_2 .

Empleando la metodología propuesta, se logró obtener tendencias diferenciadas de producción de dióxido de carbono edáfico provenientes de los cuatro sistemas evaluados. Sin embargo, no se encontraron relaciones significativas entre las tasas de respiración edáfica, las propiedades físico-químicas del suelo y las variables meteorológicas.

Estos resultados preliminares deben complementarse con nuevos estudios, ampliando el número de datos y repeticiones, considerando una mayor diversidad de ecosistemas e incluso realizando estudios de series de tiempo, para evaluar las fluctuaciones de CO_2 edáfico desde un punto de vista espacio-temporal.

Agradecimientos

Se agradece al Grupo FARO Ecuador por haber otorgado un financiamiento al grupo de investigación "FAGROCLIM" de la Universidad Técnica de Manabí, durante la convocatoria de fondos concursables para fortalecer la implementación y medición de los ODS ambientales en Ecuador. Se agradece a Stephanie Díaz-López por su minuciosa revisión y aportes sobre la versión inicial del presente trabajo. Karen Jennifer Ostaiza Demera agradece al Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí por haberle otorgado una beca total durante el desarrollo de sus estudios de 4^{to} nivel.

Referencias bibliográficas

- [1] Moreno D.M. y Munzón C.: "Impacto ambiental de los procesos de producción. Una revisión de su evolución y tendencias," *Revista I+D en TIC*, Vol. 8, N° 1, (2018), 15-20.
- [2] Gutiérrez J.R., García M.A., Tapia C.H., Escobedo J.J. y Mayorga E.A.: "Biocenosis: revista de educación ambiental," *Biocenosis*, Vol. 31, N° 1-2, (2017), 72-79.
- [3] Cárdenas J.A. y Flores C.L.: "Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión," *Rev Mex Ciencias Pecu*, Vol. 3, N° 2, (2012), 215-246.
- [4] Bustamante M.M., Martinelli L.A., Ometto J.P., do Carmo J.B., Jaramillo V., Gavito M.E., Araujo P.I., Austin A.T., Pérez T. and Marquina S.: "Innovations for a sustainable future: Rising to the challenge of nitrogen greenhouse gas management in Latin America," *Curr Opin Environ Sustain*, Vol. 9, (2014), 73-81.
- [5] IPCC.: "Climate change 2013 the physical science basis," (2013), 1-15.
- [6] IPCC.: "Climate Change 2014 Synthesis Report," Geneva, Switzerland (2014), 1-151.
- [7] IPCC.: "Summary for Policymakers," (2018), 1-24.
- [8] IPCC.: "Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)," IPCC, (2014), 1-113.
- [9] Sargent M., Barrera Y., Nehr Korn T., Hutyra L.R., Gately C.K., Jones T., McKain K., Sweeney C., Hegarty J., Hardiman B. and Wofsy S.C.: "Anthropogenic and biogenic CO_2 fluxes in the Boston urban region," *Proc Natl Acad Sci USA*, Vol. 115, N° 29, (2018), 7491-7496.
- [10] IPCC.: "Comunicado de prensa IPCC," Grup

- Intergub Expert sobre el Cambio Climático, (2018), 1-5.
- [11] Fellmann T., Witzke P., Weiss F., Van Doorslaer B., Drabik D., Huck I., Salputra G., Jansson T. and Leip A.: "Major challenges of integrating agriculture into climate change mitigation policy frameworks," *Mitig Adapt Strateg Glob Chang*, Vol. 23, N° 3, (2018), 451-468.
- [12] Burbano Orjuela H.: "El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático," *Rev Ciencias Agrícolas*, Vol. 35, N° 1, (2018), 82.
- [13] Nordgren A.: "Apparatus for the continuous, long-term monitoring of soil respiration rate in large numbers of samples," *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 20, N° 6, (1988), 955-957.
- [14] Peña-Quemba D., Rubiano-Sanabria Y., Riveros-Iregui D., Peña-Quemba D., Rubiano-Sanabria Y. and Riveros-Iregui D.: "Effects of land use on soil CO₂ flux in the Paramo de Guerrero, Colombia," *Agron Colomb*, Vol. 34, N° 3, (2016), 364-373.
- [15] Prieto I., Birouste M., Zamora-Ledezma E., Gentin A., Goldin J., Volaire F. and Roumet C.: "Decomposition rates of fine roots from three herbaceous perennial species: combined effect of root mixture composition and living plant community," *Plant Soil*, Vol. 415, N° 1-2, (2017), 359-372.
- [16] Zamora-Ledezma E., Díaz-López S., Castro E., Rivas C. y Pacheco H.: "Evaluación de metodologías para la captación y medición de gases efecto invernadero (GEI) en la agricultura: perspectivas y retos," *Agrotecnologías*, Ediciones Técnicas de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo (2020), Pp 58.
- [17] Oertel C., Matschullat J., Zurba K., Zimmermann F. and Erasmi S.: "Greenhouse gas emissions from soils—A review," *Chemie der Erde*, Vol. 76, N° 3, (2016), 327-352.
- [18] Smirnova N., Demyan M.S., Rasche F., Cadisch G. and Müller T.: "Calibration of CO₂ Trapping in Alkaline Solutions during Soil Incubation at Varying Temperatures Using a Respicond VI," *Open J Soil Sci*, Vol. 04, N° 05, (2014), 161-167.
- [19] Zwetsloot M.J., Ucross J.M., Wickings K., Wilhelm R.C., Sparks J., Buckley D.H. and Bauerle T.L.: "Prevalent root-derived phenolics drive shifts in microbial community composition and prime decomposition in forest soil," *Soil Biol Biochem*, Vol. 145, N° 1 (2020), 325-340.
- [20] Zamora-Ledezma E., Jarre Castro E.J., Díaz-López S.M., Rondón Sandia L.A., Hernández-Valencia I.E. y Pacheco Gil H.A.: "Maestría de investigación en agroecología y cambio climático de la Universidad Técnica de Manabí: Un aporte académico e investigativo." In: López Cruz, C.D., Salgado Izquierdo, I.V., Ulloa Bonilla, S.Y. y Puerta de Armas, Y.G. (eds.) *V Congreso Iberoamericano sobre Ambiente y Sustentabilidad. Universidad Estatal del Sur de Manabí - Red Iberoamericana de Medio Ambiente*, Jipijapa (2019), 786-794.
- [21] Ning J., He X.Z., Hou F., Lou S., Chen X., Chang S., Zhang C. and Zhu W.: "Optimizing alfalfa productivity and persistence versus greenhouse gases fluxes in a continental arid region," *PeerJ*, Vol. 2020, N° 3, (2020), 1-19.
- [22] Adewale C., Reganold J.P., Higgins S., Evans R.D. and Carpenter-Boggs L.: "Improving carbon footprinting of agricultural systems: Boundaries, tiers, and organic farming," *Environ Impact Assess Rev*, Vol. 71, (2018), 41-48.
- [23] Zamora-Ledezma E., Pacheco H.A., Jarre Castro E. J., y Díaz-López S. M.: "Metodologías y estrategias para monitorear e impulsar estudios de los ODS ambientales en Manabí," in *Panorama Sostenible 2020. Retos en la medición de los ODS*, Á. Andrade y C. Peña, Eds. Quito, (2020), 12-28.
- [24] Alam M.K., Bell R.W. and Biswas W.K.: "Decreasing the carbon footprint of an intensive rice-based cropping system using conservation agriculture on the Eastern Gangetic Plains," *J Clean Prod*, Vol. 218, (2019), 259-272.
- [25] Monar Merchán C. y Arauz Barcia G.: "La política de desarrollo en el área productiva, provincia de Manabí. Ecuador," *Dominio las Ciencias*, Vol. 2, N° 3, (2016), 211-225.
- [26] Lozada López G.M.: "Estudio agrosocioeconómico de la Parroquia Honorato Vásquez, Cantón Santa Ana, para proponer a la junta parroquial alternativas para lograr desarrollo comunitario sustentable," (2010), Pp 137.
- [27] Montilla Pacheco A.D.J. y Pacheco Gil H.A.: "Comportamiento temporal y espacial del bosque ribereño en el curso bajo del río portoviejo y la quebrada chilán, Provincia de Manabí, Ecuador," *Rev Int Contam Ambient*, Vol. 33, N° 1, (2017), 21-35.
- [28] Keith H. and Wong S.C.: "Measurement of soil CO₂ efflux using soda lime absorption: both quantitative and reliable," *Soil Biol Biochem*, Vol. 38, N° 5, (2006), 1121-1131.

- [29] A.A.G. Al-Shammary, A.Z. Kouzani, A. Kaynak, S.Y. Khoo, M. Norton, y W. Gates, "Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review," *Pedosphere*, Vol. 28, N° 4, (2018), 581-596.
- [30] Combatt-Caballero E.M., Palencia-L M. and Borja-M K.: "Particle size distribution by Bouyoucos in slightly alkaline soils from department of Cordoba, Colombia," *Acta Agron*, Vol. 67, N° 1, (2018), 126-132.
- [31] ASTM.: "D4531-15 Standard Test Methods for Bulk and Dry Density of Peat and Peat Products," ASTM Int. (2015), Pp 28.
- [32] Hossain M.S., Rahman G.K., Solaiman A.R., Alam M.S., Rahman M.M. and Mia M.A.: "Estimating Electrical Conductivity for Soil Salinity Monitoring Using Various Soil-Water Ratios Depending on Soil Texture," *Commun Soil Sci Plant Anal*, Vol. 51, N° 5, (2020), 635-644.
- [33] Tokatli C. and Titiz A.M.: "Water Quality of Sultanköy Dam Lake (Ipsala / Edirne): A Preliminary Assessment Study," *Int J Multidiscip Stud Innov Technol*, Vol. 3, N° 2, (2019), 233-235.
- [34] Narvaez J.F., García J.J., Campillo-Machado F., Rodríguez A.A., Cardona A. and Urrea D.P.: "Study of the leaching potential in a soil and its depuration capacity: perspectives in a landfill selection," *Rev Téc Ing Univ Zulia*, Vol. 43, N° 2, (2020), 82-88.
- [35] Zamora-Ledezma E.: "Manual para la determinación de CO₂ en suelos mediante la técnica de respirometría," *Informe Técnico M-0537,2009*. Intevp, S.A. Centro de Investigación y Desarrollo, Filial de Petróleos de Venezuela, S.A., Los Teques, (2009), Pp 14.
- [36] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.: "Anuario Meteorológico.", Quito, Ecuador. (2017), Pp 165. [Online]. Available: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf.
- [37] Adachi M., Ishida A., Bunyavejchewin S., Okuda T. and Koizumi H.: "Spatial and temporal variation in soil respiration in a seasonally dry tropical forest, Thailand," *J Trop Ecol*, Vol. 25, N° 5, (2009), 531-539.
- [38] Ohashi M., Kumagai T., Kume T., Gyokusen K., Saitoh T.M. and Suzuki M.: "Characteristics of soil CO₂ efflux variability in an aseasonal tropical rainforest in Borneo Island," *Biogeochemistry*, Vol. 90, N° 3, (2008), 275-289.
- [39] Zhang W., Yu C., Shen Z., Liu S., Li S., Shao Y. and Fu S.: "Soil and soil CO₂ magnify greenhouse effect," *arXiv:1907.06044 physics.geo-ph*, (2019), 1-33.
- [40] Gatis N., Luscombe D.J., Grand-Clement E., Hartley I.P., Anderson K., Smith D. and Brazier R.E.: "The effect of drainage ditches on vegetation diversity and CO₂ fluxes in a *Molinia caerulea*-dominated peatland," *Ecohydrology*, Vol. 9, N° 3, (2016), 407-420.
- [41] Raich J.W.: "Temporal variability of soil respiration in experimental tree plantations in lowland costa rica," *Forests*, Vol. 8, N° 2, (2017), 1-21.
- [42] Kim J., Shusterman A.A., Lieschke K.J., Newman C. and Cohen R.C.: "The Berkeley Atmospheric CO₂ Observation Network: Field calibration and evaluation of low-cost air quality sensors," *Atmos Meas Tech*, Vol. 11, N° 4, (2018), 1937-1946.
- [43] Shusterman A.A., Kim J., Lieschke K.J., Newman C., Wooldridge P.J. and Cohen R.C.: "Observing local CO₂ sources using low-cost, near-surface urban monitors," *Atmos Chem Phys*, Vol. 18, N° 18, (2018), 13773-13785.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Volumen Especial, 2020, No. 2, pp. 04 - 110 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Julio de 2020, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
www.produccioncientifica.org