



Evaluación de las emisiones de CO₂ edáfico en dos sistemas de producción de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en la región costa del Ecuador

*Assessment of soil CO₂ emissions in two pitahaya (*Hylocereus undatus*) production systems in the coastal region of Ecuador*

*Avaliação das emissões de CO₂ no solo em dois sistemas de produção de pitaiaiás (*Hylocereus undatus*) na região costeira do Equador*

Autor

✉ **Karla Raquel Sornoza Montes¹***
ksornoza5672@utm.edu.ec

✉ **Ezequiel Zamora Ledezma²**
ezequiel.zamora@utm.edu.ec

¹ Programa de Maestría en Ingeniería Agrícola, mención Agroecología y Cambio Climático. Facultad de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí. Avenida José María Urbina, Portoviejo, Ecuador.

² Grupo Funcionamiento de Agroecosistemas Ecosistemas y Cambio Climático - FAGROCLIM. Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad Técnica de Manabí. Lodana, Ecuador.

* Autor para correspondencia.

Editor Académico

Argenis de Jesús Montilla Pacheco

Citación sugerida: Sornoza Montes, K. R. y Zamora Ledezma, E., (2025). Evaluación de las emisiones de CO₂ edáfico en dos sistemas de producción de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en la región costa del Ecuador. *Revista Bases de la Ciencia*, 9(3), 43-58. DOI: <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v9i3.7102>

Recibido: 06/11/2024

Aceptado: 24/11/2024

Publicado: 10/12/2024

Resumen

En la región costa del Ecuador la producción de pitahaya (*Hylocereus undatus*) es una actividad agrícola en franco crecimiento, y la deforestación antecedente a estos cultivos, significa un importante desafío para las medidas de mitigación de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) edáfico que repercuten directamente sobre el cambio climático. El objetivo de esta investigación fue estimar la tasa de emisión de CO₂ del suelo en sistemas de producción de pitahaya en la finca Manahaya localizada en el cantón Montecristi y la Finca Germania del cantón Santa Ana ubicadas a la costa ecuatoriana. Para ello, se muestrearon dos bloques por finca estableciendo 12 puntos de medición hasta una profundidad de 20 cm utilizando el equipo portátil EGM-5 Portable CO₂ Gas Analyzer (PP-Systems). Para el procesamiento de los datos se utilizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un $\alpha = 0,05$ consiguiendo promedios de respiración edáfica entre 0,423 y 0,455 g-CO₂ .h⁻¹.m⁻² para las 9h00 y 0,206 y 0,278 g-CO₂ .h⁻¹.m⁻² a las 12h00. Se obtuvo un valor F= 11,68 con una p< 0,05 que demostraron que hubo diferencia significativa entre los promedios de emisión de CO₂ ambas fincas tanto a las 9h00 como a las 12h00. Se concluye que, las emisiones de CO₂ de los suelos dependen en gran proporción de las características del mismo, especialmente de la humedad, por tanto, el buen manejo de los cultivos contribuirá a minimizar la liberación de CO₂ a la atmósfera.

Palabras clave: pitahaya, suelo, características edafológicas, emisión de CO₂.

Abstract

In the coastal region of Ecuador, the production of pitahaya (*Hylocereus undatus*) is a rapidly growing agricultural activity, and the deforestation preceding these crops represents a significant challenge for measures to mitigate edaphic carbon dioxide (CO₂) emissions, that have a direct impact on climate change. The objective of this research was to estimate the soil CO₂ emission rate in pitahaya production systems in the Manahaya Farm located in the Montecristi canton and the Germania Farm in the Santa Ana canton belonging to the Ecuadorian coast. To do this, two plots per farm were sampled, establishing 12 measurement points with a depth of 0 to 20 cm using the EGM-5 Portable CO₂ Gas Analyzer (PP-Systems). To process the data, a one-way analysis of variance (ANOVA) was used with $\alpha = 0.05$, achieving soil respiration averages between 0.423 and 0.455 g-CO₂ .h⁻¹.m⁻² for 9h00 and 0.206 and 0.278 g-CO₂ .h⁻¹.m⁻² at 12h00. An F value = 11.68 with a p< 0.05 was obtained, which showed that there was a significant difference between the average CO₂ emissions of the Manahaya and Germania farms at both 9h00 and 12h00. It is concluded that soil characteristics are a determining factor in CO₂ emissions and that their determination is of utmost importance, because they contribute to climate change.

Keywords: pitahaya, soil, soil characteristics, CO₂ emission.

Resumo

Na região costeira do Equador, a produção de pitaiaiás (*Hylocereus undatus*) é uma atividade agrícola em rápido crescimento, e o desmatamento que antecede essas culturas representa um desafio significativo para medidas de mitigação das emissões edáficas de dióxido de carbono (CO₂), que têm impacto direto nas mudanças climáticas. O objetivo desta pesquisa foi estimar a taxa de emissão de CO₂ do solo em sistemas de produção de pitaiaiás na Fazenda Manahaya localizada no cantão de Montecristi e na Fazenda Germania no cantão de Santa Ana pertencente à costa equatoriana. Para isso, foram amostradas duas parcelas por fazenda, estabelecendo-se 12 pontos de medição com profundidade de 0 a 20 cm usando o Analisador de Gás CO₂ Portátil EGM-5 (PP-Systems). Para o processamento dos dados, foi utilizada uma análise de variância (ANOVA) unidirecional com $\alpha = 0,05$, obtendo-se médias de respiração do solo entre 0,423 e 0,455 g-CO₂ .h⁻¹.m⁻² para as 9h00 e 0,206 e 0,278 g-CO₂ .h⁻¹.m⁻² às 12h00. Foi obtido um valor de F = 11,68 com p< 0,05, o que demonstrou que houve diferença significativa entre as médias de emissões de CO₂ das fazendas Manahaya e Germania tanto às 9h00 quanto às 12h00. Conclui-se que as características do solo são um fator determinante nas emissões de CO₂ e que sua determinação é de suma importância, pois contribuem para as mudanças climáticas.

Palavras-chave: pitaiaiás, solo, características do solo, emissão de CO₂.





INTRODUCCIÓN

El territorio continental ecuatoriano se encuentra dividido en tres regiones naturales totalmente diferentes, producto a la topografía, el clima, la vegetación y la población. La Costa o Litoral, Sierra o Región Andina y El Oriente o Amazonia. Colinas, cuencas sedimentarias, llanuras fértiles, y bajas altitudes conforman la región costera. Las siete provincias que la conforman son: Santo Domingo, Guayas, Esmeraldas, Manabí, El Oro, Los Ríos y Santa Elena (Portilla, 2018). La región costera exceptuando el área septentrional húmeda se caracteriza por ser potencialmente agrícola. Aun cuando, debido a la pendientes del piedemonte representan una limitante para algunos cultivos, no obstante, la fertilidad de la llanura ubicada entre Quinindé y la frontera con Perú permite que la agricultura sea altamente rentable (Instituto Geográfico Militar (IGM), 2022).

En la región Litoral por lo general la topografía es baja, sus elevaciones no superan los 800m de sobre el nivel del mar. La cordillera Costera o Colonche constituye el principal sistema montañoso de la región, dividiéndola en dos subregiones, Costa Externa y Costa Interna. Es una planicie aluvial baja que posee diversos sistemas fluviales importantes que conforman excelentes vías que pueden ser utilizadas como transporte natural (Portilla, 2018).

En Ecuador, la agricultura es una de las actividades más importantes tanto en el ámbito económico como en la seguridad alimentaria (Yáñez, 2019). En los últimos años, la pitahaya ha pasado a ser un producto agrícola frutal comercialmente rentable para el país (Vilaplana *et al.*, 2018), junto a Colombia e Israel ha llegado a ser uno de los principales productores de este fruto que, de acuerdo a Sotomayor *et al.* (2019) se caracteriza por su atractiva apariencia externa y se considera como una de las frutas más exóticas a nivel mundial (Guzman *et al.*, 2012; Sotomayor *et al.*, 2019).

Según el Expreso (2019), en Manabí la producción de pitahaya se centra en 15 cantones, dentro de ellos se consiguen 64 sitios de producción, 38 certificados, 225 hectáreas con monitoreo y de ellas 105 están certificadas para exportación. El referente de producción es Rocafuerte contando con 90 hectáreas, de las cuales el Okaso provee 50. Asimismo, señala que ha habido una mejora paulatina en la cantidad de exportación detallando que el año anterior hubo una exportación de 356,34 toneladas desde todos los sitios de producción, lo cual representó en dólares un ingreso total de 890.830.

Aun cuando la pitahaya genera ingresos económicos favorables para el Ecuador, Dieguez *et al.*, (2020) menciona que dicho cultivo implica una serie de actividades que atentan contra el ambiente siendo una de ellas, el desbroce de ecosistemas boscosos. Los bosques y los suelos forestales poseen un papel complejo e interactivo a nivel ambiental, son capaces de actuar como depósitos de carbono cuyas emisiones resultan un factor que contribuye significativamente al cambio climático y como consecuencia problemas que implican no solo lo ambiental si no también lo económico y social (Brigette, 2021).

Espejo (2024) el dióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero más importantes, el cual ha venido aumentando en la atmósfera desde los inicios de la era industrial contribuyendo significativamente al calentamiento del clima. La principal fuente de emisiones de carácter antropogénico de CO₂ se encuentra relacionada con la combustión de combustibles fósiles, cuya utilización se ha incrementado enormemente en conjunto con el consumo de energía. Los cambios en el uso de la tierra y la deforestación también han conllevado a dichas emisiones, aunque en menor proporción (Hetemaki *et al.*, 2022).

Los bosques deberían generar diversidad de beneficios ecosistémicos a la sociedad, no obstante, estos han sido amenazados por el cambio climático que ha ocasionado una serie de riesgos de daños abióticos y bióticos tanto en los bosques como la silvicultura a nivel mundial.

Las condiciones de verano más secas y cálidas incrementan el riesgo de daños por sequías, incendios forestales e insectos y plagas. Por su parte, en invierno los riesgos de daños están más asociados a fuertes vientos, cargas de nieve y patógenos (Seidl *et al.*, 2017).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, (2015) detalla que, más 650000 millones de toneladas de carbón son capturadas por los bosques, es decir, casi un tercio de la totalidad de los ecosistemas terrestres. Asimismo, los suelos forestales son capaces de retener un volumen de carbono igual al de la biomasa forestal del mundo, es decir, cerca del 45% cada uno. Otro 10% se concentran en la hojarasca de los bosques. y la madera muerta. La importancia para el ciclo climático global del secuestro de CO₂ en la estructura del suelo se relaciona con el equilibrio de los gases de efecto invernadero en la atmósfera (Zambrano *et al.*, 2004), en tal sentido, Meza (2024) menciona que el desequilibrio del carbono entre los flujos de entrada y salida refleja la concentración de CO₂ atmosférico.

Bajo la perspectiva antes descrita, resulta de suma importancia realizar mediciones de CO₂ en bosques, tomando en cuenta que, la captura de carbono de los suelos genera beneficios ecosistémicos para el ambiente. De acuerdo a Otaiza *et al.* (2020) existen distintas metodologías y equipos para estimar la tasa de concentración de CO₂ siendo esta, la principal vía de pérdida de carbono (C) del suelo a la atmósfera e indicador biológico del mismo. La importancia de este tipo de determinaciones radica en la influencia que tiene las emisiones de CO₂ en las variaciones climáticas que, de acuerdo a Toulkeridis *et al.* (2020) ha sido responsable de diversos cambios ambientales en Ecuador a lo largo del tiempo.

Con lo antes expuesto, el principal objetivo de esta investigación fue estimar las tasas de emisión de CO₂ del suelo en sistemas de producción de pitahaya manejadas de manera diferentes, ubicadas en la provincia de Manabí.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio fue desarrollado en la provincia de Manabí, específicamente en los cantones Montecristi y Santa Ana, que, de acuerdo a Monar & Arauz (2016) se caracteriza por ser una de las provincias con más superficie de trabajo agropecuario y de mayor aprovechamiento de la zona verde para la producción y cosecha de pitahaya, posee una temperatura promedio de 25 °C mostrando un clima tropical, en el que se alterna una temporada seca y otra húmeda. (Montilla & Pacheco, 2017).

El cantón Montecristi, se encuentra ubicado al suroeste de Manabí, las coordenadas que lo definen son: 1° 2' 37" S, y 80°39' W. Cuenta con una superficie territorial de 734 km², sus temperaturas oscilan entre 20 a 40°C, contando con una altitud media de 222 msnm, y altitud máxima 443 msnm. Por su parte, el cantón Santa Ana tiene una ubicación hacia el sur de Manabí de longitud oeste de 0°15'12" y 01°08'85" de latitud sur, bajo un clima tropical seco con temporadas de lluvia y sequía. Se halla muy por encima del nivel del mar y alcanza una altitud de 500 metros sobre el mismo.

La temperatura media anual es de 26 °C, y la precipitación de 500 a 1200 mm. Producto de las influencias del clima que afectan al planeta, la costa del Ecuador es fluctuante, en los calendarios modernos la temporada de lluvias es cada vez más corta y la temporada de sequía cada vez más larga. El calor no solo se encuentran en invierno sino también en verano (Choez *et al.*, 2019).



Sistemas productivos evaluados

El presente estudio se realizó en dos fincas ubicadas en la provincia de Manabí, los mismos fueron seleccionados considerando el auge que la producción de pitahaya ha cobrado en la región y en el país, siendo estas producciones principalmente destinadas a la comercialización en mercados internacionales. La Figura 1 muestra la ubicación relativa de la provincia de Manabí, Ecuador y las fincas en estudio.



Figura 1. Ubicación relativa de la provincia de Manabí, Ecuador y las fincas productoras de Pitahaya Manahaya y Germania. a) Posición geográfica de Ecuador, b) Provincia de Manabí c) Cantones de Montecristi y Santa Ana.

Las características generales de los sistemas de producción de las fincas en estudio se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los sistemas de producción de las fincas Manahaya y Santa Ana

Características	Finca (a)	Finca (b)
Cantón	Montecristi	Santa Ana
Identificación de la finca	Manahaya	Germania
Área (ha)	14	30
Sistema de riego	Presurizado por goteo	Presurizado por goteo
Producción	15 ton/ha/año	30 ton/ha/año

En cada finca se seleccionó un área de intervención que fue dividida en dos bloques de 120x30 m (finca Manahaya) y 120x35 m (Germania), respectivamente. En cada bloque se estableció un sistema de distribución de puntos de medición sistematizado-simétrico, compuesto por 6 puntos de medición aproximadamente cada 20 m. El diseño experimental resultante fue de 12 puntos de muestreo en cada finca evaluada (Figura 2).

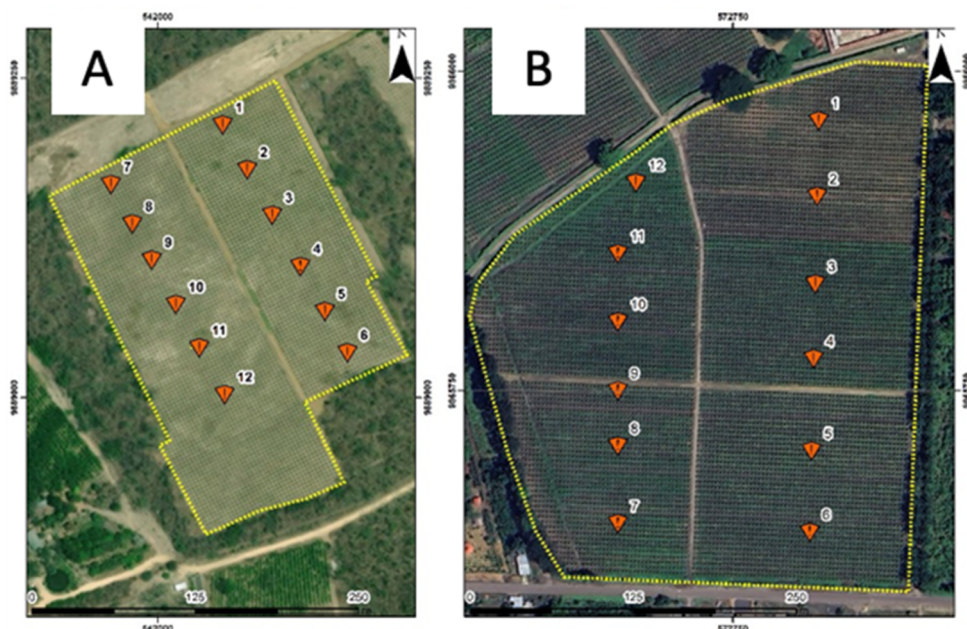


Figura 2. Distribución de puntos de medición en las fincas evaluadas. A) Finca Manahaya, Montecristi. B) Finca Germania, Santa Ana. Señalando los 12 puntos de medición.

Medición de CO₂ edáfico

Para monitorear las concentraciones de dióxido de carbono edáfico se utilizó un equipo portátil EGM-5 PP-Systems provisto de una cámara de respiración del suelo modelo SRC-2 (Torralba *et al.*, 2022), cuyas dimensiones son 150 mm (alto) x 100 mm (diámetro), un volumen de 1171 ml y un área de 78 cm². Este equipo se acopló de manera simultánea con un sensor de temperatura y humedad del suelo modelo HydraProbe II – Stevens Water Monitoring Systems. En cada punto de medición de ambas fincas, se procedió a realizar mediciones de CO₂ a las 9h00 y 12h00 para comprobar la variabilidad del flujo de CO₂ debido a las fluctuaciones diurnas de la temperatura. Cada medición se realizó por un intervalo de tiempo de 120 s y se configuró el equipo de medición para registrar e integrar lecturas cada 2 s, de manera de obtener un valor promedio de CO₂ edáfico a partir de 60 lecturas.

Las mediciones de CO₂ edáfico en ambas fincas se realizaron durante el mes de junio y octubre del año 2023, meses que se caracterizan por ser una época de sequía. Una vez realizadas las mediciones en todos los puntos de muestreo se procedió a realizar los cálculos aplicando un ajuste lineal para obtener el flujo de CO₂ edáfico.

Captación de las muestras de suelo

Inmediatamente después de retirar el sistema de medición de CO₂ edáfico en cada punto de medición establecido para ambas fincas, se procedió a captar una muestra de suelo en el mismo lugar donde se realizaron las mediciones de gases. Para extraer las muestras se empleó un barreno de acero inoxidable (0-20 cm de profundidad; 15 cm de diámetro). Una vez colectadas las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas rotuladas y colocadas en una hielera, para luego ser transportadas al laboratorio de Agroecosistemas y Cambio Climático de la Facultad de Ingeniería Agrícola, de la Universidad Técnica de Manabí (UTM), Ecuador.



Pretratamiento y análisis de muestras de suelo

Una vez ingresadas las muestras al laboratorio, fueron homogenizadas, sometidas a secado durante 48 h a 45 °C y trituradas con ayuda de un mortero. Asimismo, fueron cernidas con un tamiz de tamaño de poro de 2 mm y luego se realizaron los siguientes análisis: pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura, con el equipo multiparámetro WTW™, modelo pH/Cond 3320.

Procesamiento y análisis de datos

Se realizaron promedios y desviaciones estándar empleando el programa MINITAB tanto a nivel de fincas como a nivel de horarios de medición (9h00; 12h00). Para evidenciar si hubo diferencias significativas de las emisiones de CO₂ entre los bloques y fincas se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un error $\alpha = 0,05$ y prueba de medias PosHoc Fisher LSD. También se desarrolló un análisis de correlación de Pearson entre el flujo de CO₂ y cada una de las variables edáficas estudiadas. Los datos fueron procesados con el programa STATGRAPHICS Centurión XVI versión 17.

Resultados y discusión

Los promedios y la desviación estándar del flujo de CO₂ del suelo en los dos bloques de las Finca Manahaya y Germania se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de promedios del flujo de CO₂ edáfico obtenido en las fincas Manahaya y Germania en los diferentes horarios. Letras diferentes en los promedios representan diferencias significativas entre bloques. DE: Desviación estándar

Finca	Hora	Respiración edáfica (g-CO ₂ h ⁻¹ m ⁻²)				Promedio (Hora)
		Bloque 1		Bloque 2		
		Promedio	DE	Promedio	DE	
Manahaya	9h00	0,497 ^a	0,221	0,413 ^a	0,167	0.455
	12h00	0,316 ^b	0,095	0,240 ^b	0,091	0.278
Promedio Finca 1		0,406		0,327		0,367
Germania	9h00	0,462 ^a	0,206	0,384 ^a	0,155	0.423
	12h00	0,155 ^c	0,065	0,257 ^c	0,092	0.206
Promedio Finca 2		0,309		0,321		0,315

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre horarios, a un $p < 0,05$.

Como se observa en la Tabla 2 el flujo de la respiración edáfica en la finca Manahaya fue mayor en las mediciones realizadas a las 9h00 (0,497 y 0,413 g-CO₂ h⁻¹ m⁻²), en comparación con las mediciones hechas al mediodía (0,316 y 0,240 g-CO₂ h⁻¹ m⁻²). De igual manera en la finca Germania se observaron valores más altos de dióxido de carbono edáfico en las mediciones matutinas (0,462 y 0,384 g-CO₂ h⁻¹ m⁻²) en comparación con aquellas efectuadas al mediodía (0,155 y 0,257 g-CO₂ h⁻¹ m⁻²).

Los promedios de emisiones de CO₂ edáficos entre bloques no variaron de manera importante en ambas fincas, obteniéndose en Manahaya valores de 0,406 y 327 g-CO₂ .h⁻¹.m⁻², para los bloques 1 y 2 respectivamente; mientras que en Germania 0,309 y 0,321 g-CO₂ h⁻¹.m⁻², para ambos bloques (Tabla 2). Al analizar los promedios de emisiones entre las Fincas evaluadas se pudo observar que en Manahaya se obtuvieron los niveles más altos de emisión de CO₂ del suelo (0,367 g-CO₂ .h⁻¹ m⁻²) en comparación con lo observado en Germania (0,315 g-CO₂ h⁻¹ m⁻²).

A partir del análisis de varianza de una vía (ANOVA) se obtuvo un valor F= 11,68 con una p< 0,05 que demostraron que no hubo diferencia significativa entre los promedios de emisión de CO₂ entre ambas fincas, no obstante, se evidencia una diferencia significativa entre valores de CO₂ captados en una misma finca, pero diferentes horarios. Dicha situación puede atribuirse a diversos factores, especialmente asociados a la humedad y temperatura del suelo para la hora de captación, así como la actividad microbiana del consorcio edáfico.

Influencia de la humedad y la temperatura en el flujo de CO₂ de los suelos de la finca Manahaya y Germania

La Tabla 3 hace referencia a los promedios de humedad y temperatura de los suelos de las fincas Manahaya y Germania con respecto a las 9h00 y 12h00.

Tabla 3. Influencia de la humedad y la temperatura en la tasa de respiración de los suelos de la finca Manahaya y Germania.

Finca	Hora	Humedad (%)	Temperatura (°C)	CO ₂ (g-CO ₂ -h ⁻¹ m ⁻²)
Manahaya	9h00	21,16	23,83	0,455
	12h00	19,3	24,86	0,278
Germania	9h00	23,72	23,81	0,423
	12h00	21,73	24,83	0,206

En la Tabla 3 se puede observar que, para la finca Manahaya el valor de humedad del suelo a las 9h00 fue de 21,26% y de temperatura 23,83°C, con un flujo de CO₂ de 0,455 g-CO₂-h⁻¹m⁻², mientras que para las 12h00 la humedad del suelo fue de 19,3% con una temperatura de 24,86°C y un flujo de CO₂ de 0,278 g-CO₂-h⁻¹m⁻². En el caso de la finca Germania el valor de humedad registrado a las 9h00 fue de 23,72% y de temperatura 23,81°C, con una tasa de respiración del suelo de 0,423 g-CO₂-h⁻¹m⁻², en tanto, para las 12h00 la humedad fue de 21,73% con una temperatura de 24,83°C y una tasa de respiración edáfica de 0,206 g-CO₂-h⁻¹m⁻².

Al comparar los flujos de CO₂ para cada finca se puede evidenciar que, al aumentar la humedad de los suelos, el flujo de CO₂ es mayor. Dichos resultados son afianzados por Pingintha-Durden *et al.* (2007) quien señala que, la humedad del suelo es un factor determinante en la producción de CO₂, ya que, mejora la respiración de la raíz producto del crecimiento de las plantas y los procesos microbianos capaces de descomponer la materia orgánica lábil del suelo y con ello el aumento de la producción y emisión de CO₂. Adicionalmente, la liberación de CO₂ se favorece a medida que los gases se desplazan producto del ingreso del agua al suelo.

Asimismo, Salinas (2018) encontró mayor flujo de CO₂ edáfico en época de lluvia en relación a la época de sequía, atribuyendo esta conducta a que la humedad del suelo influye en la respiración de las raíces, los procesos microbianos y el desplazamiento de los gases. López *et al.* (2020) muestran la humedad del suelo como el factor más influyente en el flujo de CO₂ edáfico por su efecto en las variables bioquímicas, ecológicas y fisiológicas, movilidad de nutrientes, disponibilidad de sustratos y materia orgánica disuelta.

Del mismo modo Curiel *et al.* (2003) afirma que un bajo contenido de humedad limita la respiración de las raíces y microbiana. De forma contraria ocurre cuando existe un alto contenido de humedad, debido a que los poros del suelo son bloqueados limitando el oxígeno y emitiendo CO₂ (Bouma & Bryla, 2000). Por su parte, Zhou *et al.* (2007) mencionan que largas sequías conllevan a que el flujo de CO₂ del suelo disminuya, independientemente de la temperatura del mismo. En este sentido, cuando el suelo posee una humedad idónea para apoyar la actividad biológica, la temperatura del suelo es concluyente para la respiración de este (Carbone *et al.*, 2011).

Con respecto a la temperatura de los suelos se observa que, los flujos de CO₂ para ambas fincas disminuyeron cuanto esta aumentó, al respecto, Alvarado y Quiroz (2022) mencionan que uno de los factores que influye en las emisiones de CO₂ edáfico, entre es la temperatura. Asimismo, Cruz-Sánchez *et al.* (2022) reportó un aumento exponencial de la respiración edáfica con el incremento de la temperatura del suelo, mientras que Carbone *et al.* (2011) sostienen que la temperatura del suelo es concluyente en su tasa de respiración cuando este posee una humedad idónea para apoyar la actividad biológica.

En la Figura 3 se puede evidenciar la producción de CO₂ edáfico en los horarios evaluados para cada finca.

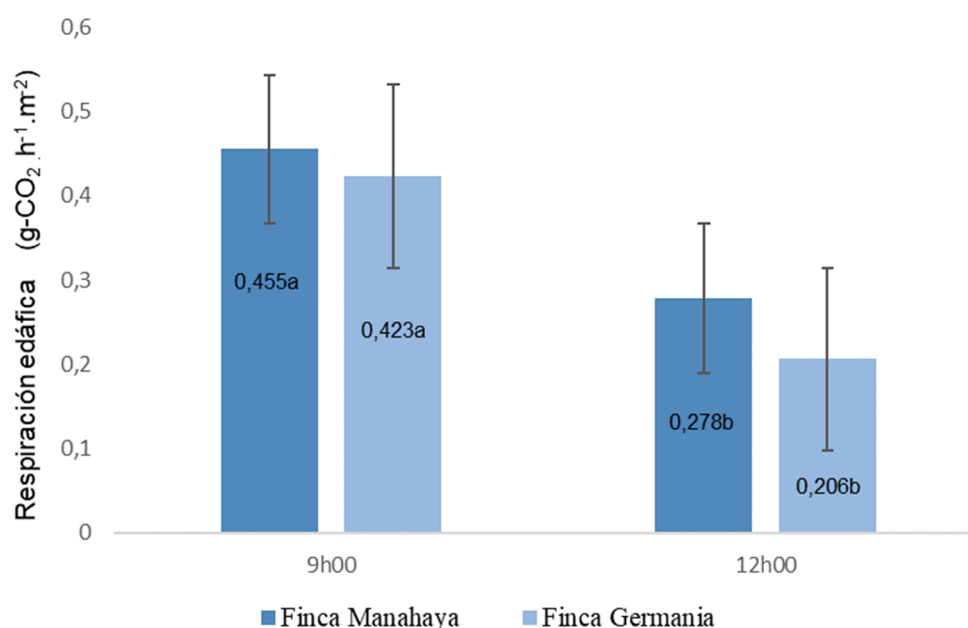


Figura 3. Respiración edáfica promedio en los distintos horarios estudiados en cada una de las fincas. La línea sobre las barras muestra el error estándar del promedio para cada horario. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre horarios, a un $p < 0,05$.

En la Figura anterior se puede evidenciar, al comparar la producción de CO₂ en la finca Manahaya existe una diferencia significativa entre ambas horas. Asimismo, ocurre con la producción de CO₂ en la finca Germania en horario de 12h00. Por otra parte, al comparar los promedios obtenidos entre finca Manahaya y Germania a las 9h00 no existe diferencia significativa entre estos.

Características edáficas de las Fincas Manahaya y Germania

Las características estudiadas de los suelos se encuentran reflejados en la Tabla 3. Especialmente se describen características edáficas como pH, temperatura del suelo y la conductividad eléctrica.

Tabla 3. Características edáficas de las fincas Manahaya y Germania.

Característica	Finca Manahaya		Finca Germania	
	Promedio	DE	Promedio	DE
pH	9.10	0.94	7.25	0.42
Temperatura del suelo (°C)	24.90	-	24.10	-
Conductividad eléctrica (μs/cm)	201.50	32.50	80.03	18.78



Los suelos estudiados resultaron moderadamente alcalinos con un pH que osciló entre 7,25 (finca Germania) y 9,10 (finca Manahaya). De acuerdo a Crane & Balerdi (2019) y López & Guido (2020) se obtiene mejores resultados en el cultivo de pitahaya cuando se cultiva en suelos ricos en materia orgánica y con valores de pH ligeramente ácidos, entre los 5,5 y los 6,5. No obstante, pueden adaptarse a diversos tipos de suelo siempre y cuando no sean propensos a inundación (PROCOMER, 2019). Cabe destacar, que la actividad microbiana se ve influenciada por el pH del suelo y por ende, sus prácticas de manejo influyen en la emisión de gases del mismo, en tal sentido, provoca que el carbonato adicional se libere en forma de CO_2 (Snyder *et al.*, 2009). Dicha situación pudo haber sido un factor promotor de los cambios que se encontraron entre ambas fincas respecto a la respiración edáfica de ambos suelos.

Las temperaturas se mantuvieron constantes considerando que la media anual de la Costa del Ecuador de acuerdo a Portilla (2018) es de 25 °C, por lo que no se toma como un elemento influyente en las variaciones de CO_2 edáfico de los suelos de las fincas en estudio. La conductividad eléctrica oscila entre 80,03 $\mu\text{s}/\text{cm}$ para la finca Germania y 201,50 $\mu\text{s}/\text{cm}$ para la finca Manahaya. De acuerdo a la escala de clasificación según su salinidad, los suelos estudiados son denominados no salinos (Food and Agriculture Organization (FAO), 1988). Este tipo de suelos puede tener una buena actividad de los microorganismos que favorecen la producción de CO_2 , bajo este indicio es muy importante el buen manejo de los mismos, evitando en lo posible el desbroce de su cultivo y, por ende, su volatilización a la atmósfera.

Para identificar las posibles relaciones sinérgicas o antagónicas entre las variables estudiadas y el dióxido de carbono del suelo, se presenta un análisis de correlaciones de Pearson (Figura 4) en la que se muestran las relaciones entre las concentraciones de CO_2 edáfico medidas a las 9h00 y 12h00 en las dos fincas de pitahaya, ubicadas en los cantones de Montecristi (Finca Manahaya) y Santa Ana (Finca Germania), respectivamente.

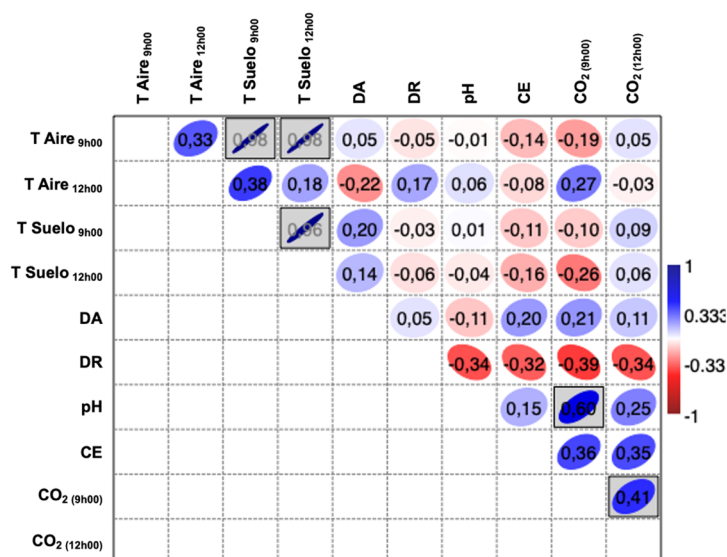


Figura 4. Matriz de correlaciones (Pearson) entre las emisiones CO_2 edáfico con parámetros del suelo y climáticos. Se muestran las variables siguientes: CO_2 a las 9h00 ($\text{CO}_{2\ 9\text{h}00}$), CO_2 a las 12h00 ($\text{CO}_{2\ 12\text{h}00}$), temperaturas del aire a las 9h00 ($T_{\text{aire}\ 9\text{h}00}$) y 12h00 ($T_{\text{aire}\ 12\text{h}00}$), temperaturas del suelo a las 9h00 ($T_{\text{suelo}\ 9\text{h}00}$) y 12h00 ($T_{\text{suelo}\ 12\text{h}00}$), densidad aparente (DA), densidad relativa (DR), conductividad eléctrica (CE). Los valores de R^2 son indicados en la matriz, con relaciones significativas ($P<0.05$) destacadas en un cuadro gris. El color azul representa relaciones positivas y el rojo relaciones negativas.

Las correlaciones entre el CO₂ edáfico medido a las 9h00 y 12h00 en las fincas de pitahaya (Manahaya en Montecristi y Germania en Santa Ana) fueron en general débiles, lo que sugiere que las variaciones en la concentración de CO₂ no estuvieron fuertemente explicadas por los parámetros edáficos o climáticos analizados en el estudio (Figura 4).

A las 9h00, el CO₂ mostró una relación significativa únicamente con el pH del suelo, con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,60$, lo que indica una influencia moderada del pH sobre las emisiones de CO₂. Sin embargo, las correlaciones con otros parámetros, como la densidad aparente (DA) y la densidad relativa (DR), fueron débiles, con los valores más altos de R^2 alcanzando solo 0,21 y 0,39, respectivamente. Estos resultados sugieren que factores como la compactación del suelo y la acidez no fueron determinantes importantes para el comportamiento del CO₂ en las condiciones de este estudio.

A las 12h00, el CO₂ mostró una correlación significativa solo con el CO₂ a las 9h00, con un $R^2 = 0,41$, lo que sugiere una cierta relación temporal entre ambas mediciones, pero sin una influencia clara de los factores edáficos o climáticos en las emisiones de CO₂. Las correlaciones con la temperatura del aire (T Aire_{12h00}) y la temperatura del suelo (T Suelo_{12h00}) fueron relativamente bajas, con $R^2 = 0,20$ y $R^2 = 0,80$, respectivamente, lo que indica que, aunque la temperatura del suelo podría tener una influencia moderada en las emisiones de CO₂, no fue suficiente para establecer una relación fuerte o predecible.

En cuanto a la temperatura, a las 9h00, la correlación entre la temperatura del aire (T Aire_{9h00}) y la temperatura del suelo (T Suelo_{9h00}) fue significativamente alta, con $R^2 = 0,97$, lo que indica que las fluctuaciones en la temperatura del aire estuvieron estrechamente relacionadas con la temperatura del suelo en ese momento. Sin embargo, la temperatura a las 12h00 mostró una relación aún más fuerte con la temperatura del suelo a las 12h00 ($R^2 = 0,98$), lo que refleja la influencia predominante de la temperatura en las emisiones de CO₂, pero sin ser el único factor explicativo.

En el presente estudio, el flujo de CO₂ edáfico no permitió identificar de manera clara y consistente cuál de los parámetros medidos podría tener un efecto importante sobre las emisiones de CO₂.

Esta falta de correlación significativa podría explicarse por la complejidad de los factores que influyen en la respiración edáfica, los cuales son multifactoriales y a menudo dependen de interacciones dinámicas que no son fácilmente captados en estudios de correlación simple. Además, las características específicas de los ecosistemas estudiados, como su tipo de vegetación, las prácticas de manejo, la microbiota del suelo y la heterogeneidad espacial de las condiciones ambientales, podrían haber influido en la variabilidad observada en las emisiones de CO₂, sin que estas variaciones se relacionaran directamente con los parámetros medidos en el estudio.

Este resultado es consistente con estudios previos, como el de Abarca Yáñez & Zumba Maliza (2021) que también encontraron una baja relación entre la respiración edáfica y factores fisicoquímicos del suelo, tales como densidad aparente, conductividad eléctrica, humedad, pH y materia orgánica. De manera similar, Ostaiza Demera et al. (2020) reportaron coeficientes de correlación bajos entre la respiración edáfica en cuatro ecosistemas de la Provincia de Manabí y las características edáficas y variables meteorológicas. Estos hallazgos sugieren que, a pesar de la importancia teórica de estos factores, otros elementos, como la actividad biológica del suelo o las fluctuaciones temporales en las condiciones ambientales, pueden ser determinantes para el flujo de CO₂, pero difíciles de capturar mediante correlaciones directas con los parámetros fisicoquímicos estándar.

Como conclusión preliminar, aunque se identificaron algunas relaciones significativas, como la correlación entre el CO₂ a las 9h00 y el pH del suelo, así como la fuerte asociación entre las temperaturas del aire y del suelo, las correlaciones observadas fueron en su mayoría débiles. En particular, las relaciones con parámetros como la densidad aparente (DA), la densidad relativa (DR) y la conductividad eléctrica (CE) fueron mínimas, lo que sugiere que factores no medidos en este estudio podrían estar desempeñando un papel importante en las emisiones de CO₂ edáfico en estos ecosistemas.



Variabilidad de la temperatura atmosférica diaria en las Fincas Manahaya y Germania

La Figura 5a se observa la temperatura atmosférica media diaria registrada durante el mes de junio de 2023 en la finca Manahaya en Montecristi. A lo largo del mes, las temperaturas oscilan entre un mínimo de 24,77 °C y un máximo de 25,88 °C, lo que indica condiciones isotérmicas. La temperatura se determinó a partir del satélite ERA5_AG desde la aplicación Climate Engine (Huntington, *et al* 2017).

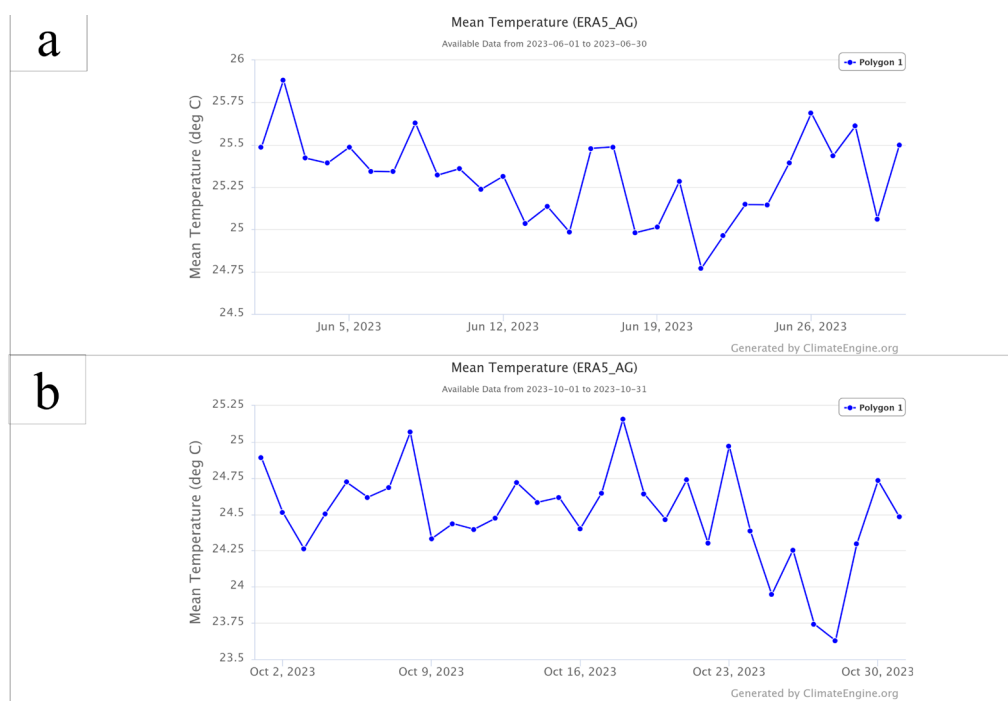


Figura 5. Variación de la temperatura diaria (°C) en las Fincas Manahaya (a) y Germania (b). Información extraída de la aplicación Climate Engine (2024).

Los días más cálidos se presentan al inicio del mes, especialmente el 2 de junio, con una temperatura media de 25,88 °C. A partir de la segunda semana, se observa una ligera tendencia a la baja, alcanzando su menor valor el 21 de junio con 24,77 °C. Sin embargo, hacia finales de este mismo mes, las temperaturas vuelven a ascender, cerrando con un promedio de 25,50 °C el 30 de junio. En el caso puntual de este estudio el promedio de temperatura diaria para la finca fue de 25,34 °C.

La Figura 5b muestra la temperatura atmosférica media diarias de la finca Germania, ubicada en Montecristi, durante octubre de 2023. Las temperaturas varían entre 23,63 °C y 25,16 °C, con una tendencia general hacia valores cercanos a 24,5 °C. Se observan ligeras fluctuaciones a lo largo del mes, pero no se registran cambios bruscos, lo que sugiere condiciones climáticas estables en el sector. El promedio de temperatura diaria para la finca fue de 25,07 °C.

En general, la temperatura media puede tener un impacto significativo en la respiración del suelo y, por ende, en las emisiones de CO₂. En la finca de pitahaya en la costa de Ecuador, las mediciones de CO₂ edáfico revelan emisiones más elevadas a las 9h00 que a las 12h00, lo cual puede atribuirse a varios factores interrelacionados. A tempranas horas de la mañana, las temperaturas del suelo son más frescas, lo que favorece la actividad microbiana responsable de la descomposición de materia orgánica y la liberación de CO₂.

Además, la humedad del suelo tiende a ser mayor en las primeras horas del día, lo que estimula aún más la actividad biológica. A medida que avanza el día y las temperaturas aumentan, la actividad microbiana puede disminuir y las plantas, al realizar fotosíntesis, consumen CO₂, lo que contribuye a la reducción de las emisiones. Estos elementos destacan la compleja interacción entre la temperatura, la humedad y la actividad biológica en el suelo, factores cruciales para la gestión eficiente del cultivo y la salud del ecosistema agrícola.

Sin embargo, el aumento en las emisiones de CO₂ también depende de otros factores, como la humedad del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la gestión agrícola. En un sistema agrícola sostenible, mantener temperaturas moderadas y una buena gestión del suelo puede ayudar a minimizar las emisiones, fomentando una producción agrícola rentable mientras se protege el medio ambiente.

CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que el monitoreo de emisiones de gases efecto invernadero de origen edáfico puede realizarse de manera eficiente y rápida, empleando equipos portátiles de alta tecnología y precisión como el utilizado en el presente estudio.

Las emisiones de CO₂ de los suelos dependen en gran proporción de las características del suelo, especialmente la humedad y la temperatura, por tanto, el buen manejo de los cultivos de pitahaya contribuirá a minimizar la liberación de CO₂ edáfico a la atmósfera, que contribuye al incremento del calentamiento global y del fenómeno del cambio climático.

Los datos obtenidos indican que la respiración edáfica es más alta a las 9h00 en ambas fincas y disminuye significativamente a las 12h00. En general, la finca Manahaya presenta mayores tasas de respiración en comparación con Germania durante ambas mediciones. Esto podría estar relacionado con factores ambientales como temperatura, humedad o actividad biológica en el suelo.

Los datos sobre la respiración edáfica en las fincas de Manahaya y Germania indican que la actividad biológica del suelo influye en la disponibilidad de nutrientes para los cultivos de pitahaya, con implicaciones directas para su productividad. Para desarrollar sistemas agrícolas rentables y sostenibles en la Costa de Ecuador, es esencial adoptar prácticas como la rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos, que mejoren la salud del suelo y promuevan la biodiversidad. Al mismo tiempo, la implementación de técnicas que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, como la optimización del riego y la reducción de fertilizantes sintéticos, permitirá alcanzar un equilibrio entre rentabilidad y conservación ambiental, asegurando un futuro más sostenible para la producción de pitahaya.

Es necesario seguir realizando estudios similares, para poder encontrar mejores respuestas al funcionamiento de los agroecosistemas, aumentando el número de parámetros del suelo y superficie, así como los meteorológicos para robustecer las investigaciones futuras y los consecuentes resultados.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS DE LOS AUTORES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a FONTAGRO por el financiamiento otorgado a esta investigación en el marco de la cooperación técnica No. ATN/RF-18959-RG: Proyecto “Nanofertilizantes en el suelo y emisiones de óxido nitroso”, ejecutado en colaboración entre la Universidad Técnica de Manabí (U.T.M.), Ecuador y la Universidad Industrial de Santander, Colombia.





REFERENCIAS

- Alvarado Macías, J. F., & Quiroz Moreira, K. J. (2022). *Variabilidad espacial de las tasas de emisión de CO₂ edáfico en el bosque semideciduo tropical de Lodana*, Manabí. Universidad Técnica de Manabí, Escuela de Ingeniería Agrícola
- Bouma, T., & Bryla, D. (2000). *On the assessment of root and soil respiration for soils of different textures: Interactions with soil moisture contents and soil CO₂ concentrations*. 3, 239–248. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1026502414977>
- Briggette, M. C. C. (2021). *Efecto de la deforestación en el cambio climático en el Ecuador: un enfoque de cointegración y causalidad con series de tiempo* [Universidad Nacional de Loja]. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24058/1/Cindy_Briggette_Malla_Condoy.pdf
- Carbone, M., Still, C., Ambrose, A., Dawson, T., Williams, A., Boot, C., Schaeffer, S., & Schimel, J. (2011). *Seasonal and episodic moisture controls on plant and microbial contributions to soil respiration*. *Oecologia*, 167, 265–278. <https://doi.org/10.1007/s00442-011-1975-3>.
- Choez, B. D. B., Ríos, S. J. C., & Del Valle, D. J. M. (2019). *Analysis of the vulnerability to flooding in the Santa Ana de Vuelta larga Parish, province of Manabi, Ecuador*. *Investigaciones Geograficas*, 98, 1–14. <https://doi.org/10.14350/rig.59767>
- Climate Engine. (2024). *Desert Research Institute and University of California, Merced*. Accessed on (date). <http://climateengine.org, version 2.1>.
- Crane, J. H., & Balerdi, C. F. (2019). *Pitaya Growing in the Florida Home Landscape*. *Edis*, 21, 1–6. <https://doi.org/10.32473/edis-hs303-2005>
- Cruz-Sánchez, Y., López-Teloxa, L. C., Gómez-Díaz, J. D., & Monterroso-Rivas, A. I. (2022). *Respiración de CO₂ desde el suelo en bosques templados del Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl, centro de México*. *Bosque*, 43(2), 125–133. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002022000200125>
- Curiel Yuste, J., Janssens, I. A., Carrara, A., Meiresonne, L., & Ceulemans, R. (2003). *Interactive effects of temperature and precipitation on soil respiration in a temperate maritime pine forest*. *Tree Physiology*, 23(18), 1263–1270. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.18.1263>
- Dieguez, S. K., Zabala, V. A. A., Villarroel, Q. K. L., & Sarduy, Pereira, L. B. (2020). *Evaluación del impacto ambiental del cultivo de la pitahaya, Cantón Palora, Ecuador*. *Tecnológicas*, 23(49), 113–128. <https://doi.org/10.22430/22565337.1621>
- Espejo, D. J. Briceño (2024). *Captura de Carbono de tres especies de Bambú Nativo en ecosistemas de San Martín y Ucayali*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6238>
- Expreso. (2019). *El 90 % de la pitahaya que se produce en Manabí se exporta*. <https://www.expreso.ec/actualidad/90-pitahaya-produce-manabi-exporta-17032.html>

- Food and Agriculture Organization (FAO). (1988). *Salt-Affected Soils and their Management*. <https://www.fao.org/3/x5871e/x5871e00.htm>
- Guzman, P. O. A., Perez, L., & Patino, A. (2012). *Identification of plant phytoparasite nematodes in yellow pitahaya (Selenicereus megalanthus HAW)*. *Boletín Científico Museo de Historia Natural Universidad de Caldas*, 16(2), 149–161. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-30682012000200013&script=sci_abstract&tlng=en
- Huntington, J., Hegewisch, K., Daudert, B., Morton, C., Abatzoglou, J., McEvoy, D., and T., Erickson. (2017). *Climate Engine: Cloud Computing of Climate and Remote Sensing Data for Advanced Natural Resource Monitoring and Process Understanding*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-D-15-00324.1>
- Hetemaki, L., Kangas, J. y Peltola, H. (2022). *Forest Bioeconomy and Climate Change*. Editorial Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-99206-4>
- Instituto Geográfico Militar (IGM). (2022). *Suelos de la Ecuadr. Clasificación, uso y manejo*. In *Suelos del Ecuador: Clasificación, Uso y Manejo* (Issue June, pp. 47–115).
- López, H., & Guido, A. (2020). *Cultivo de la Pitahaya* (DSA-INTA).
- López Teloxa, L. C., Monterroso Rivas, A. I., & Gómez-Díaz, J. D. (2020). Diseño de calibración para cuantificar emisiones de CO₂ (respiración del suelo) durante intervalos diurnos. *Agrociencia*, 54(6), 731–745. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i6.2188>
- Meza, J. C. Ramirez (2024). *Estimación del carbono almacenado en sistemas de producción de hojas de Calathea lutea (Bijao) en el centro poblado la Divisoria región Ucayali*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María-Perú.
- Monar, M. C., & Arauz, B. G. (2016). *La política de desarrollo en el área productiva, provincia de Manabí. Ecuador. Dominio de Las Ciencias*, 2(3), 211–225. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5761601>
- Montilla, P. A. D. J., & Pacheco, G. H. A. (2017). Comportamiento temporal y espacial del bosque ribereño en el curso bajo del río portoviejo y la quebrada chilán, provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(1), 21–35. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.02>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Los bosques y suelos forestales contribuyen de manera esencial a la producción agrícola y la seguridad alimentaria mundial*. <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/285875/>
- Otaiza, D. C. J., Jarre, C. E. J., Pacheco, H. A., & Ledezma-Zamora, E. (2020). Propuesta híbrida para la captación y medición de CO₂ edáfico empleando cámaras de incubación estáticas y secuestro de gases. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 2(2), 04–110. <https://doi.org/10.22209/rt.ve2020n2a05>
- Pingintha-durden, N., Chayawat, C., Hong, J., & LeClerc, M. (2007). *Y. Luo and X. Zhou, Soil Respiration and the Environment, Academic Press, An Imprint of Elsevier Science, London (2006) March 2019, 2006–2008*. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.01.008>



- Meza, J. C. Ramirez (2024). *Estimación del carbono almacenado en sistemas de producción de hojas de Calathea lutea (Bijao) en el centro poblado la Divisoria región Ucayali*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María-Perú.
- Monar, M. C., & Arauz, B. G. (2016). *La política de desarrollo en el área productiva, provincia de Manabí. Ecuador. Dominio de Las Ciencias*, 2(3), 211–225. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5761601>
- Montilla, P. A. D. J., & Pacheco, G. H. A. (2017). Comportamiento temporal y espacial del bosque ribereño en el curso bajo del río portoviejo y la quebrada chilán, provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(1), 21–35. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.02>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Los bosques y suelos forestales contribuyen de manera esencial a la producción agrícola y la seguridad alimentaria mundial*. <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/285875/>
- Otaiza, D. C. J., Jarre, C. E. J., Pacheco, H. A., & Ledezma-Zamora, E. (2020). Propuesta híbrida para la captación y medición de CO₂ edáfico empleando cámaras de incubación estáticas y secuestro de gases. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 2(2), 04–110. <https://doi.org/10.22209/rt.ve2020n2a05>
- Pingthanthurden, N., Chayawat, C., Hong, J., & LeClerc, M. (2007). *Y. Luo and X. Zhou, Soil Respiration and the Environment, Academic Press, An Imprint of Elsevier Science, London (2006) March 2019*, 2006–2008. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.01.008>
- Portilla, F. F. (2018). Introducción. In: Agroclimatología del Ecuador. In AbyaYala (Ed.), *Agroclimatología del Ecuador* (pp. 17–40). <https://doi.org/10.7476/9789978104927.0001>
- PROCOMER. (2019). *Manual técnico. Siembra de Pitahaya*.
- Salinas Alcántara, L. (2018). *Emisión de CO₂ en suelos de pastizales y bosque [Universidad Autónoma del Estado de México, México]*. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/98956/Tesis_maestria_Liliana_Salinas_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Seidl R, Thom D, Kautz M, Martin-Benito D, Peltoniemi M, Vacchiano G et al (2017) *Forest disturbances under climate change*. *Nat Clim Chang* 7:395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). *Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3–4), 247–266. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2009.04.021>
- Sotomayor, A., Pitizaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Nicolalde, J., Viera, W., Torralba, F.G., López, K.L. y Flores D.R. (2022). *Metodología aplicada en la determinación de la línea base de tasa de captura de carbono en agotaderos de la APFF Maderas del Carmen y Ocampo, Coahuila, México*. En: XI Congreso Internacional de Manejo de Pastizales. Memorias. Zacatecas-México.

- Toulkeridis, T., Tamayo, E., Simón-Baile, D., Merizalde-Mora, M. J., Reyes -Yunga, D. F., Viera-Torres, M., & Heredia, M. (2020). *Climate change according to ecuadorian academics-perceptions versus facts*. *Granja*, 31(1), 21–49. <https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.02>
- Vilaplana, R., Alba, P., & Valencia-Chamorro, S. (2018). *Sodium bicarbonate salts for the control of postharvest black rot disease in yellow pitahaya (Selenicereus megalanthus)*. *Crop Protection*, 114, 90–96. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2018.08.021>
- Yáñez, V. F. R. (2019). *Implicaciones ambientales y sociales del uso y manejo de agroquímicos en la producción de maíz suave en la Provincia de Bolívar. Estudio de caso: Recinto Achupallas, Cantón San Miguel* [Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador]. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/10469/15759/TFLACSO-2019FRYV.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- Yáñez Valverde, Fernando Rafael. 2019. *Implicaciones ambientales y sociales del uso y manejo de agroquímicos en la producción de maíz suave en la Provincia de Bolívar. Estudio de caso: Recinto Achupallas, Cantón San Miguel*. Tesis de maestría, Flacso Ecuador.
- Zambrano, A., Franquis, F., & Infante, A. (2004). *Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales Alexis Zambrano 1 ; Félix Franquis 2 ; Angel Infante 3*. 11–20. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24117/articulo2.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Zamora-Ledezma, E., Marina Díaz López, S., José, E., Castro, J., Alfredo, C., Cobo, R., Antonio, H., & Gil, P. (2020). *Evaluación de metodologías para la captación y medición de gases efecto invernadero (GEI) en la agricultura: perspectivas y retos*. *Agrotecnologías*, November, Pp 58.
- Zhou, X., Wan, S., & Luo, Y. (2007). *Source components and inter annual variability of soil CO₂ efflux under experimental warming and clipping in a grassland ecosystem*. *Global Change Biology*, 13, 761–775. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01333.x>

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Autor	Contribución
Karla Raquel Sornoza Montes	Desarrollo de la investigación, redacción del manuscrito
Ezequiel Zamora Ledezma	Asesoría de la investigación, revisión del manuscrito

