



Factores de emisión de CH₄ y CO₂ en rastrojo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr. var. *comosus*), en San Carlos, Costa Rica

Emission factors of CH₄ and CO₂ in pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr. var. *comosus*) stubble in San Carlos, Costa Rica

Teresita Fallas Rojas^{✉1}, Carlos Ramírez Vargas²

Palabras clave

GEI, rastrojo, CO₂, CH₄, factor de emisión, flujo de emisión.

Resumen

En Costa Rica, las plantaciones de piña son renovadas cada dos años para iniciar un nuevo ciclo de producción, actividad en la cual se genera una gran cantidad de rastrojo que emite gases que contribuyen al cambio climático (gases GEI). Con el propósito de contribuir al desarrollo de un factor nacional de emisión de GEI para rastrojo de piña se llevó a cabo esta investigación en la finca El Tremedal S.A., entre agosto y diciembre del 2016, en un área experimental de 8400 m². Se dispuso de un diseño experimental de bloques generalizados, considerando tres tipos de manejo de rastrojo de plantas después de la segunda cosecha: 1) rastrojo incorporado en verde (RV), 2) rastrojo quemado con herbicida químico (RH) y 3) rastrojo quemado con herbicida químico más fuego (RH+Q). El flujo de emisión de CH₄ y CO₂ se expresó en mg/m²/día durante siete observaciones y el acumulado en kg/ha. Los resultados obtenidos generaron un factor de emisión de ambos gases por cada tipo de manejo e indicaron que en cada uno se perdió materia orgánica, carbono y nitrógeno, a excepción del RV, que presentó una ganancia mínima de nitrógeno. Las emisiones de CH₄ y CO₂ por tipo de manejo de rastrojo presentaron alta variabilidad en el periodo evaluado. El factor de emisión determinado para un año correspondiente al GEI metano (CH₄) en RV fue de 926 kg/ha; para RH fue de 1592,30 kg/ha y para el RH+Q fue 1297,81 kg/ha. Para el GEI dióxido de carbono (CO₂) en RV fue de 1541,76 kg/ha, para RH fue de 2455,72 kg/ha y para RH+Q fue 2175,96 kg/ha.

Key words

GHG, stubble, CO₂, CH₄, emission factor, emission flow.

Abstract

In Costa Rica, pineapple plantations are renewed every two years to start a new production cycle, activity in which a large amount of stubble is generated that may emit gases that contribute to climate change (GHG). With the purpose to contribute in the development of a national GHG emission factor for pineapple stubble, this research was carried out in the El Tremedal S.A. farm, between August and December 2016. The experimental area involved 8400 m². of a generalized blocks design, considering three types of plant stubble management after the second harvest: 1) stubble incorporated in green (RV), 2) stubble burned with chemical herbicide (RH), and 3) stubble burned with chemical herbicide plus fire (RH+Q). The emission flow of CH₄ and CO₂ was expressed in mg/m²/day for seven observations (every 15 days) and the accumulated in kg/ha. The results obtained generated an emission factor of both type gases on each type of management. Each management practice record lost of organic matter, carbon and nitrogen, except for the RV, which presented a minimum nitrogen gain. The emissions of CH₄ and CO₂ by type of stubble management showed high variability in the period evaluated. The emission factor determined that a stubble year release of GHG methane (CH₄) in RV was 926 kg/ha, in RH it was 1592.30 kg/ha, and in RH+Q it was 1297.81 kg/ha. For the GHG carbon dioxide (CO₂) in RV was 1541.76 kg/ha, for RH it was 2455.72 kg/ha and for RH+Q it was 2175.96 kg/ha.

1 Ing. Agrónoma, ✉tfallas3@gmail.com

2 Docente e Investigador, ITCR. Escuela de Agronomía, caramirez@tec.ac.cr

Introducción

Como el principal productor de piña fresca en el mundo, Costa Rica produce el 9% de la fruta fresca colocada en los mercados mundiales, en un área estimada en 45 000 ha, la cual representa el 3% de la superficie del planeta dedicada a esta actividad y que genera alrededor de US\$990 millones en exportaciones [1]. La participación del país en este sector del mercado creció del 34,2% en el 2007 al 49,5% en el 2014 [2].

Este vertiginoso desarrollo en el cultivo de la piña trajo consigo un incremento en el volumen de desecho orgánico, especialmente de la biomasa producida a partir de la renovación de la plantación (rastrojo). De acuerdo con González Alfaro [3], las plantaciones de piña son renovadas cada dos años para iniciar un nuevo ciclo de producción, actividad que produce alrededor de 250 toneladas de rastrojos (residuos orgánicos) por hectárea, los cuales quedan en el área cultivada una vez descartada la planta como fuente de fruta y semilla. En los primeros años del 2000 alrededor de 1,5 millones de toneladas métricas de rastrojo de piña se transformaban en desecho cada año en el país [4]. El estimado actual realizado por Hernández-Chaverri *et al.* [5], alcanza 4,28 millones (\pm 1,19 millones) de t/año.

Dado el alto volumen que alcanza el rastrojo de la piña y su impacto sobre las personas y comunidades que conviven con el cultivo y sobre el ambiente, se han propuesto diversas formas de aprovechamiento como materia prima para procesos de biorrefinería, biofertilizantes, producción de carbón, entre otros [6]-[7]. Sin embargo, Costa Rica no cuenta con un adecuado proceso de reutilización de estos desechos, siendo los mismos procesados en el terreno.

Hernández-Chaverri *et al.* [5] describen los dos manejos de rastrojo que se utilizan actualmente en las zonas cultivadas del país: en seco, el cual requiere la aplicación de paraquat para la desecación química del material y posterior uso de fuego para incinerar el material remanente; y en verde, en el que se utilizan rastras para la trituración del material “*in situ*” y su incorporación al suelo. De acuerdo con estos autores, el manejo en verde es 1,6 veces más costoso, resulta en una mayor proliferación de plagas como la mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*) y conlleva de tres a

cuatro semanas más para la utilización del terreno, por lo que los productores prefieren el manejo en seco, el cual es altamente contaminante para el suelo, aguas subterráneas y aire.

Los rastrojos de piña, tanto en seco como en verde, son de lenta degradación y generan gases de efecto invernadero (GEI), principalmente CH₄, N₂O y CO₂. Para la certificación Carbono Neutralidad de los procesos de producción de piña, según el acuerdo 36-2012 Programa País “Carbono –Neutralidad” [8], se carece de un factor de emisión para CH₄ y CO₂ aplicables a la etapa de rastrojo. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue contribuir al desarrollo de un factor nacional de emisión de CH₄ y CO₂ para rastrojo en verde, rastrojo con herbicida químico y rastrojo con herbicida químico + quema con fuego en plantaciones de piña, que pueda ser utilizado para la más completa estimación de la huella de carbono en este cultivo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en áreas de cultivo de piña de la finca El Tremedal S.A., ubicada en Venecia de San Carlos, Alajuela, Costa Rica (N 10°26', E 84°15') a una altitud de 320 msnm aproximadamente. En el sitio se reporta una humedad relativa promedio de 80% y una precipitación entre 3500-4000 mm/año, la temperatura presenta un rango de 22-32°C [9]. En esta finca se utiliza la práctica de “mínima labranza” con la que se disminuye aproximadamente el 90% de la demanda de maquinaria, al no requerir una nueva preparación del suelo. En el proceso se aplica únicamente un herbicida desecante (paraquat) al rastrojo, que con el tiempo se incorpora al suelo mediante una chapea manual con cuchillo y la aplicación de microorganismos descomponedores, luego se procede a limpiar drenajes, reformar parte de las camas manualmente con pala y reparar los caminos, quedando de esta manera el terreno listo para la nueva siembra.

El trabajo de campo se realizó en el área de una plantación de piña del híbrido MD-2, bajo técnicas de manejo de mínima labranza y con una densidad de siembra de 65 000 plantas/hectárea. Las camas de siembra estaban conformadas por dos hileras sobre una cama de 70 cm de superficie con un diseño espacial de “tres bolillo” con 27 cm entre plantas y 110 cm de centro a centro de cama. Para la siembra de este espacio se utilizó material

vegetativo de desarrollo uniforme (350 g-400 g). El área experimental midió en total 8400 m² y se conformó por tres parcelas de 2800 m² cada una, con densidad promedio de 20 350 plantas. El estudio comprendió el material vegetativo correspondiente a dos ciclos de producción, por lo que habían transcurrido al menos 29 meses después del establecimiento de la plantación.

El rastrojo de las plantas fue incorporado al suelo de tres maneras diferentes: plantas derribadas en verde (RV), plantas derribadas después del efecto de un herbicida químico (RH) y plantas derribadas después del efecto de un herbicida químico más fuego (RH+Q). Los tratamientos correspondieron a los tres tipos de manejo de rastrojo del cultivo y el periodo de estudio correspondió a cuatro meses luego de finalizado el ciclo productivo de la plantación.

En el RV, el rastrojo se incorporó manualmente al suelo en verde sin la adición de productos que aceleraran su descomposición, bajo la práctica cultural de labranza mínima; este tratamiento comprendió la ejecución de dos cortes en forma manual (chapeas) dirigidos a la base de las plantas. El primer corte se realizó al final del ciclo productivo (un día antes del primer muestreo), el segundo corte fue necesario debido a la germinación de rebrotes y se realizó trascurridos 45 días del primer corte (un día antes del cuarto muestreo) con el objetivo de acelerar la descomposición del material vegetal. El RH fue tratado con herbicida quemante paraquat, en dosis de 9,0 l/ha de producto comercial, aplicado seis días antes de la ejecución del primer muestreo de aire. El RH+Q consistió en la aplicación de paraquat seis días antes de la ejecución del primer muestreo (similar a RH) y la quema con fuego 74 días después de la aplicación del herbicida.

El estudio se ejecutó entre agosto y diciembre del 2017. Durante este tiempo se realizaron siete muestreos quincenales: 1, 15, 30, 45, 60, 75 y 105 ddi (días después de iniciado el ensayo). Se muestrearon dos de los principales gases con efecto invernadero (CO₂ y CH₄), los cuales fueron evaluados mediante el flujo de emisión y expresados en mg/m²/día. A partir de esos datos se obtuvieron acumulados en kg/ha.

En el área de cada tratamiento experimental se midió aire en ocho puntos distintos; en cada uno se extrajo muestras utilizando una cámara de

muestreo que consistió en un recipiente plástico cilíndrico cerrado, con un diámetro de 36 cm y una altura de 50 cm; equipado con un pequeño puerto de muestreo lateral que correspondió a un cepo de hule por donde se muestreó el aire mediante una jeringa.

La extracción del aire del interior de la cámara para cada muestreo se hizo mediante la introducción de la aguja de una jeringa de 12 ml de capacidad; una vez succionado el aire, se depositó inmediatamente en un tubo de ensayo sellado herméticamente y al vacío. Se muestreó en intervalos de 30 minutos, generando cuatro submuestras a los 0, 10, 20 y 30 minutos. En total se llenaron ocho tubos por punto de muestreo. Cada tubo de ensayo cargado de aire y debidamente identificado se mantuvo en refrigeración y fue enviado, antes de las siguientes 24 horas, al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional para el respectivo análisis de los gases CO₂ y CH₄.

Los muestreos se realizaron cada dos semanas iniciando a las 7:00 am, por un período de cuatro meses, tiempo promedio de duración del rastrojo en las fincas de piña en época de invierno para la zona de estudio. Los puntos de muestreo en cada tipo de rastrojo se identificaron mediante GPS y se demarcaron en el campo durante todo el período de observación, procurando realizar las mediciones quincenales en el mismo punto de muestreo.

La determinación del gas CH₄ se realizó mediante un cromatógrafo de gases provisto de detectores de captura de electrones (ECD) y de ionización de llama (FID), con reactivos de grado analítico tales como cilindros de gas tipo patrón: metano: 15 μmol/mol, balance aire. Este resultado se expresó en partes por millón (ppm). El gas se extrajo mediante una jeringa de inyección para gases (3 μl) en cada uno de los tubos de ensayo, cuatro en total por cada punto de muestreo quincenal (uno por cada tiempo de muestreo); se procesaron 32 muestras de gas por muestreo y en total se analizaron 224 muestras de gas.

Para determinar el CO₂ se extrajo 10 ml de aire de cada tubo de ensayo, cuatro en total, utilizando una jeringa. Esta acción fue realizada por cada punto de muestreo quincenal que correspondió a los cuatro tiempos muestreados y se inyectó a una manguera conectada directamente al detector de CO₂. Se

procesaron 32 muestras de gas por muestreo para un total de 224 muestras.

Las muestras fueron analizadas por celda abierta utilizando un lector infrarrojo que detecta la intensidad de la luz y lo convierte en un valor de concentración de gas en ppm.

Para el cálculo del flujo de emisión de los GEI por muestreo según tratamiento de rastrojo, se utilizó el resultado en ppm para cada gas; este se interpoló directamente en la curva de calibración ajustada linealmente por mínimos cuadrados simples, para lo que se utilizó una hoja de cálculo de computadora diseñada para este método de análisis. Cuando fue necesario, se aplicaron factores de dilución. Se construyó una gráfica de dispersión de concentración del gas en ppm vs tiempo en minutos (0,10, 20 y 30 minutos), según los tiempos en que se muestreó cada una de las repeticiones; después se aplicó una regresión lineal a los puntos y se obtuvo la pendiente. El factor emisión en mg/m²/día, se calculó mediante la fórmula 1 (UNA 2017) [10].

$$F_{\text{emisión}} = \left(\frac{\left(m \cdot \frac{P \cdot M}{R \cdot T} \right) \cdot V_{\text{cámara}}}{A_{\text{cámara}}} \right) * 1,44$$

Donde:

$F_{\text{emisión}}$ = flujo de emisión de área de la fuente (mg/(m²×día))

m = pendiente de la regresión lineal (μmol/mol/min)

P = presión ambiente (Pa)

M = masa molar del gas. M_{CH_4} = 16,04246 g/mol.

M_{CO_2} = 44,01 g/mol

R = constante de los gases ideales (8,314)

T = temperatura ambiente (K)

$V_{\text{cámara}}$ = volumen de la cámara (m³)

$A_{\text{cámara}}$ = área superficial de la cámara (m²)

1,44 = constante para conversión de unidades.

El factor de emisión así determinado para CH₄ y CO₂ en cada uno de los tipos de manejo de rastrojo es válido para un año de plantación y se expresó en kg/ha, el cual correspondió al valor acumulado de emisión de cada uno de los tipos de manejo de rastrojo.

El flujo de emisión de cada gas se analizó según tratamiento y momento de muestreo; además se determinó el área bajo la curva para el acumulado de ambos gases. Las diferencias entre tratamientos se determinaron a partir de modelos lineales generales mixtos (MLMix) con corrección de heterocedasticidad. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat/P [11].

Resultados y discusión

Flujo de emisiones de CH₄ y CO₂

Se observó una alta variabilidad en los valores de emisión de CH₄ y CO₂, a juzgar por los errores estándar obtenidos. En el Cuadro 1 se presentan los valores de emisión de CH₄ y de CO₂ por tiempos de muestreo en los tres tipos de manejo del rastrojo.

Durante el primer día de muestreo se observó diferencias significativas respecto a emisiones de CH₄, con medias más altas en RV. Este resultado puede estar asociado a la chapia ejecutada un día antes de tomar la muestra, con el objetivo de acelerar el proceso de descomposición de las plantas. Transcurridos quince días de iniciado el periodo de rastrojo, se observó un efecto de tratamiento respecto a emisiones de CH₄; con un valor menor en RH+Q. El RH presentó una media de emisión de CH₄ cinco veces más alta que en el primer muestreo y en el RV fue 22 veces más alta que la presentada durante el primer muestreo. En el tercer y cuarto muestreos (30 y 45 ddi), la emisión de CH₄ no mostró diferencias significativas entre manejos de rastrojo. En el quinto y sexto muestreo (60 y 75 ddi) se observó efecto de tratamiento, con medias de emisión más altas en el manejo RH. Al final del periodo de evaluación (105 ddi), se observó un efecto de tratamiento en la emisión de CH₄, con valores estadísticamente superiores en RH.

Bermejo [12] y el Worldwatch Institute [13] coinciden en que la quema de rastrojos con herbicidas, emite 700 millones de toneladas de CO₂e por año de los gases CH₄ y N₂O, lo que representa el 11% del 30% responsable de las emisiones causadas por la agricultura.

Al contrario del CH₄, las emisiones de CO₂ al inicio del estudio fueron las más altas de todos los muestreos en los tres tipos de manejo de rastrojo.

Cuadro 1. Emisiones (media y E.E.) de CH₄ y CO₂ (mg/m²/día) según manejo de rastrojo en piña, por días de muestreo. Finca El Tremedal, San Carlos, Costa Rica, 2017.

Table 1. Emissions (mean and S.E.) of CH₄ and CO₂ (mg/m²/day) according to pineapple stubble management, by sampling day. Finca El Tremedal, San Carlos, Costa Rica.

Días	Manejo de rastrojo			p-valor
	Verde (RV)	Herbicida (RH)	Herb+Quema (RH+Q)	
CH ₄				
1	51,6 ± 8,1 ^a	7,7 ± 2,5 ^b	18,8 ± 9,4 ^b	0,0002
15	1216,1 ± 301,7 ^a	2308,8 ± 425,8 ^a	526,4 ± 125,8 ^b	0,0013
30	840,1 ± 314,2	747,0 ± 189,4	795,9 ± 101,9	0,9608
45	629,9 ± 130,6	598,6 ± 199,7	829,9 ± 213,6	0,6827
60	849,8 ± 93,5 ^b	1806,6 ± 419,6 ^a	678,4 ± 95,2 ^b	0,0383
75	532,1 ± 91,6 ^b	2110,4 ± 366,2 ^a	673,9 ± 147,9 ^b	0,0018
105	727,4 ± 153,0 ^b	1244,1 ± 152,9 ^a	1856,0 ± 377,0 ^a	0,0147
CO ₂				
1	4755,6 ± 989,8	2779,8 ± 715,9	3089,9 ± 1047,1	0,2843
15	2422,4 ± 385,8 ^a	3642,6 ± 868,7 ^a	1362,0 ± 132,8 ^b	0,0066
30	1203,6 ± 214,2	1099,0 ± 184,4	2181,6 ± 860,8	0,4736
45	1410,5 ± 372,4	2430,6 ± 572,2	2638,1 ± 866,5	0,2217
60	852,6 ± 224,0 ^b	2337,0 ± 571,2 ^a	1886,5 ± 372,5 ^b	0,0186
75	1628,5 ± 531,4	2830,8 ± 1231,7	3375,0 ± 746,8	0,1706
105	547,5 ± 123,5 ^b	2068,1 ± 356,2 ^a	1804,0 ± 320,8 ^a	0,0002

Para cada día de muestreo, medias con letra diferente indican diferencias significativas, según la prueba DGC (p<0,05).

Para esta variable se observó también el efecto de la chapia previa que se realizó en el RV y que se asume aumentó los niveles de emisiones GEI. También resulta importante mencionar que durante la ejecución del primer muestreo ocurrió una alta precipitación, lo que pudo provocar que las emisiones de CO₂ fueran más altas en los tres tipos de rastrojo. Este resultado estaría en concordancia con lo encontrado por Navarro-García *et al.* [14], quienes reportan que “el incremento en la cantidad de carbono producido por la rotura de los agregados al recibir la lluvia explicaría el aumento de la producción de CO₂, ya que no se produjo un incremento en la cantidad de microorganismos tras su rotura”. Este resultado sugiere que en presencia de lluvias, los procesos físicos en el suelo, y en especial la asociación de organismos, sustratos y partículas de minerales, son fundamentales en la emisión del CO₂. Sumado a lo anterior, Blasco

[15] afirma que la actividad microbiana, y por consiguiente la producción de CO₂, aumenta más rápidamente con los primeros incrementos de los niveles de humedad que cuando se aproxima al punto de saturación, pero la producción total de CO₂ es mayor en el rango de pF (fuerza con la que el agua es retenida por las partículas del suelo) de 2,7 a 0; este efecto es debido a la habilidad de los microorganismos aerobios y anaerobios facultativos para actuar a niveles de alta humedad, mientras que a niveles bajos sólo actúan los aerobios. Sin embargo, debe considerarse que los terrenos dedicados al cultivo de piña, en la mayoría de las fincas, se caracterizan por presentar un buen sistema de drenajes con el objetivo de reducir las condiciones de anegamiento en situaciones lluviosas ya que la alta humedad propicia la reproducción de enfermedades fungosas.

El resultado del segundo muestreo (15 ddi) indicó un efecto de tratamiento respecto a emisiones de CO_2 , con valores de emisión más bajos en el RH+Q. Se podría asociar la acción del herbicida paraquat con el aumento de emisiones ya que las plantas al estar desecándose no capturan CO_2 como normalmente lo harían, sino que contrariamente lo emiten por un proceso de necrosamiento. Para el tercer y cuarto muestreo (30 y 45 ddi), los datos de emisión de CO_2 no mostraron efecto de tratamiento; por lo tanto, el comportamiento de ambos gases fue similar en estos dos muestreos. Llama la atención que un día antes del cuarto muestreo, se realizó una segunda chapia en el RV para acelerar el proceso natural de descomposición y eliminar nuevos retoños, sin efecto de tratamiento.

Las emisiones de CO_2 correspondientes al quinto y séptimo muestreos (60 y 105 ddi) mostraron efecto de tratamiento, con valores menores en el RV. No se evidenció efecto de tratamiento en el sexto muestreo (75 días). Es importante recalcar que aun cuando al inicio en el RV se presentó la emisión más alta de CO_2 , llegó a ser la más baja en el último día muestreado.

La emisión de CO_2 en el cultivo de piña muestra que existe actividad metabólica que aumenta cuando se presentan precipitaciones; según Blasco [15] una actividad metabólica alta se caracteriza por un elevado consumo de oxígeno y una alta producción de CO_2 . La medida del CO_2 que evolucionó a partir de una cantidad determinada de suelo, es un buen índice de la actividad microbiana del mismo ya que en todos los suelos la producción de CO_2 aumenta a medida que el pF disminuye a 0 (100% máxima capacidad de retención de agua). Por otra parte, cuando los suelos tienen humedad próxima a la capacidad de campo, los coloides orgánicos son más fáciles de atacar por los microorganismos [15], lo cual se relaciona con las emisiones encontradas en este estudio, ya que en San Carlos existen condiciones idóneas de humedad en el suelo y ambiente que permiten la sobrevivencia de altas poblaciones de microorganismos que emiten CO_2 .

Emisión acumulada de CH_4 y CO_2

En la Figura 1 se muestran las medias de emisión de metano y de dióxido de carbono acumulados durante todo el período de rastrojo.

Se observó que el RH acumuló la mayor emisión de CH_4 y de CO_2 durante los 105 días del periodo de

rastrojo. En el caso del CO_2 , esta emisión no difirió de la del RH+Q, aunque sí del RV, a partir de los 75 de rastrojo ($p=0,0004$), mientras que para el CH_4 se encontraron diferencias significativas ($p=0,0116$) entre tratamientos, con resultados similares entre RV y RH+Q, y significativamente superiores en RH a partir de los 60 días de medición.

Posterior a la quema con fuego, aumentó las emisiones de metano a más del doble en el RH+Q; mientras que el RV acumuló menos emisiones durante el período de rastrojo; esto coincide por lo descrito por Keppler *et al.* [16], quienes afirman que las plantas también emiten gas metano a la atmósfera, que lo hacen muchas especies vivas y también una vez muertas, variando la emisión en función de la luz solar y la temperatura: por cada diez grados más de temperatura, las emisiones se duplican.

Según el IPCC [17], las emisiones de CO_2 provenientes de la incineración de desechos son generalmente más significativas que las emisiones de CH_4 y N_2O . En este estudio, el acumulado de CO_2 en RV fue significativamente más bajo que el de RH y el de RH+Q, a partir del quinto muestreo, lo que demuestra que el uso de herbicidas y posterior quema aumentan la cantidad de emisiones de CO_2 .

El acumulado de emisión de CO_2 fue más alto comparado con el acumulado de CH_4 , aunque esta comparación debe tomarse con cierta reserva considerando que el potencial de calentamiento global (PCG) del CH_4 es de 21, lo cual quiere decir que este gas contribuye al calentamiento 21 veces más que el CO_2 [17]. La unidad de medida utilizada para indicar el PCG de los gases de efecto invernadero se denomina CO_2 equivalente (CO_2e); por lo que se estima que se emitió más gas metano que CO_2 durante el período de rastrojo.

Relación de las emisiones de CH_4 y CO_2 y las condiciones climáticas

Durante el período de estudio la temperatura se mantuvo constante (24,5°C en promedio), el valor más alto (25,2°C) se presentó 30 días después de iniciada la etapa de rastrojo y la más baja (23,2°C) correspondió con el último muestreo realizado a los 105 ddi. La humedad relativa se mantuvo alta durante el período de rastrojo, como es usual en la zona en estudio, con promedio de 88,6%. La

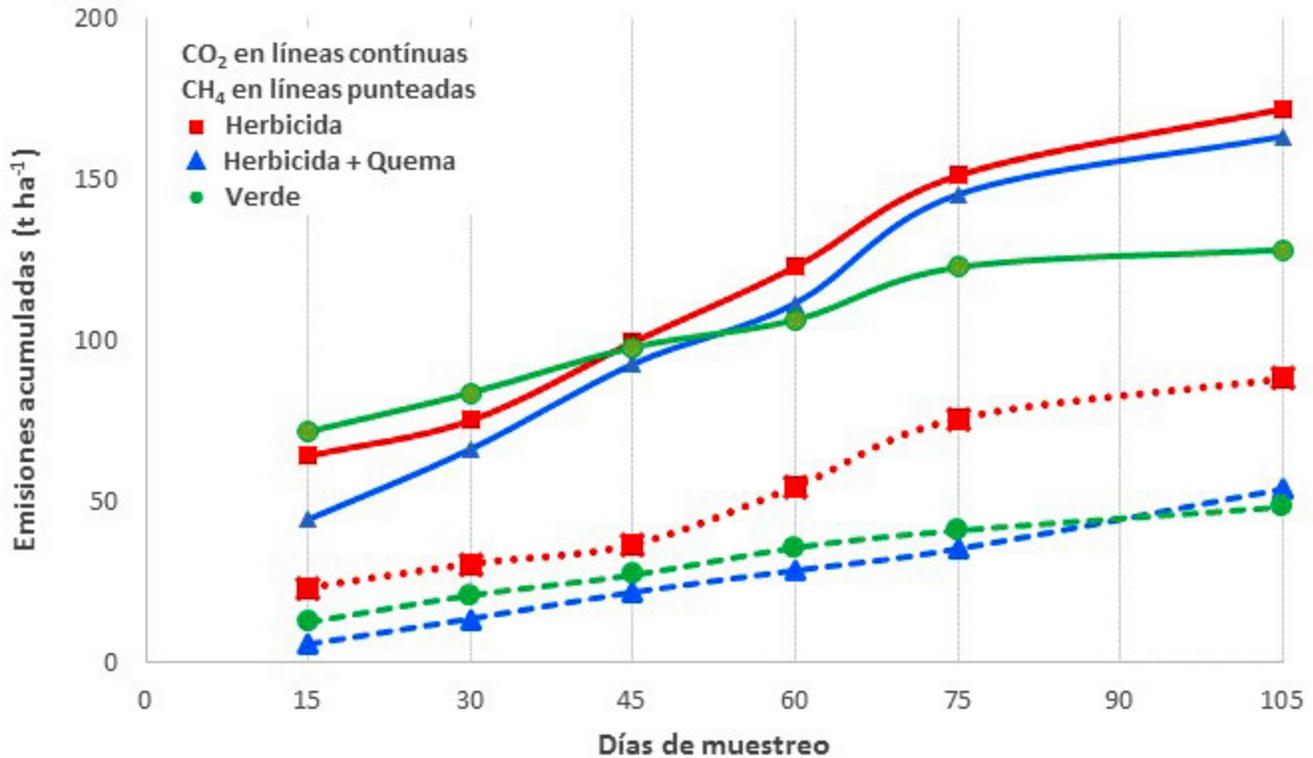


Figura 1. Emisiones acumuladas de CH₄ y CO₂ según manejo de rastrojo en piña, por días de muestreo. Finca El Tremedal, San Carlos, Costa Rica, 2017.

Figure 1. Cumulative emissions of CH₄ and CO₂ according to pineapple stubble management, by sampling day. Finca El Tremedal, San Carlos, Costa Rica.

precipitación fue intensa durante el primer día de muestreo.

En la Figura 2 se presenta la relación entre temperatura, precipitación y humedad relativa a nivel de cada manejo de rastrojo durante los días de muestreo respecto a las emisiones de CH₄ y de CO₂. Aunque se aprecia una relación inversa entre las emisiones de CH₄ y la precipitación, no se posee el sustento teórico que fortalezca dicha aseveración. Por el contrario, según Castro [18] en presencia de lluvias la adición de hidrógeno y oxígeno a la materia orgánica provoca una reacción con el carbono, aumentando las emisiones de CO₂; además de que, a mayor temperatura mayor es la velocidad de la reacción [19], por lo que la combinación perfecta para promover las emisiones de CO₂ es alta temperatura, alta humedad y materia orgánica presente.

Factores de emisión de GEI para cada tipo de manejo de rastrojo

En el Cuadro 2 se presentan los factores de emisión de GEI determinados para CH₄ y CO₂ según el tipo de manejo de rastrojo analizado. Estos valores podrían ser utilizados en los inventarios GEI de la actividad agrícola.

Para el caso del gas CH₄ el valor indicado debe ser multiplicado por PCG (21) si se desea obtener el resultado en CO₂e.

Conclusiones

En general, las emisiones de CH₄ y CO₂ a nivel de cada tipo de manejo de rastrojo evaluado presentaron mucha irregularidad y alta variabilidad en cuando a la cantidad emitida en cada observación, expresada por altos valores de error

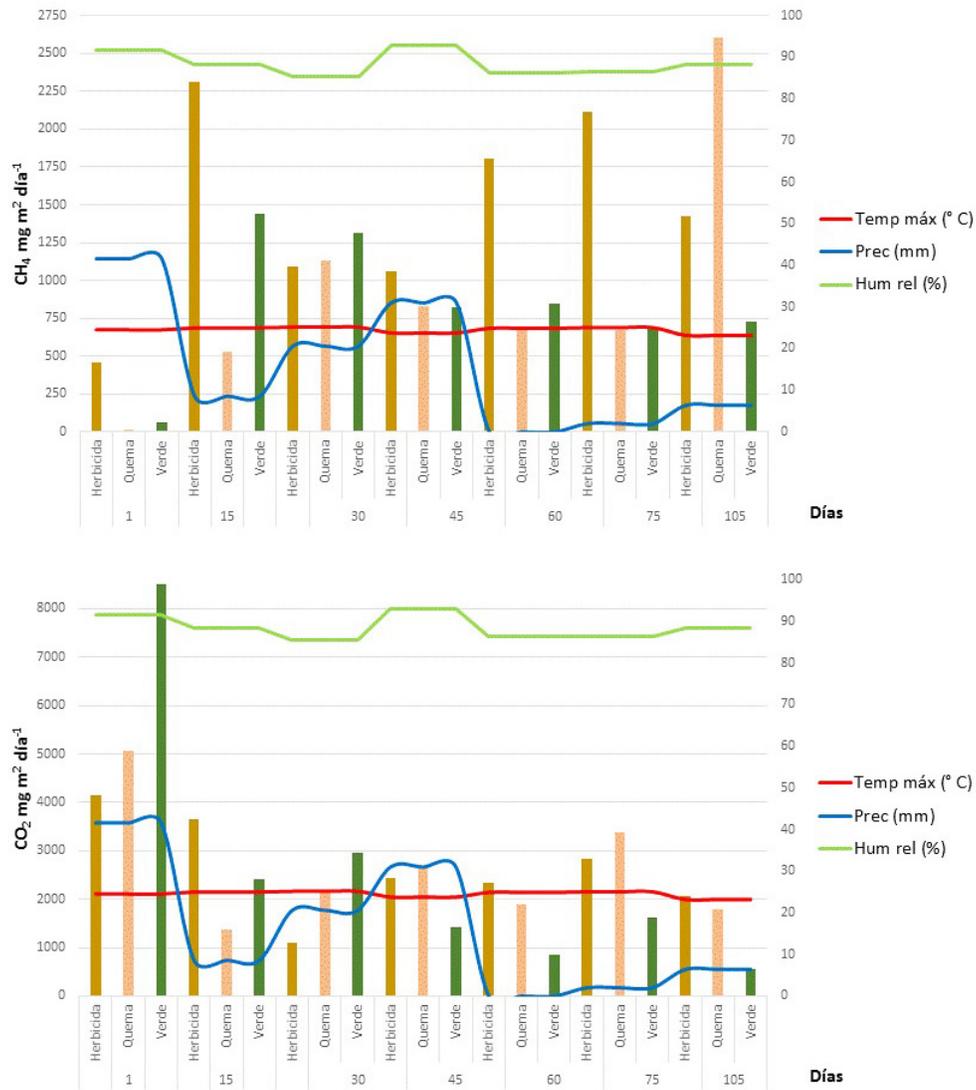


Figura 2. Emisiones de CH₄ y CO₂ (mg/m²/día) y condiciones climáticas presentes (temperatura, precipitación y humedad relativa) en tres manejos de rastrojo (RV, RH y RH+Q). Finca El Tremedal, San Carlos, Costa Rica, 2017.

Figure 2. Emissions of CH₄ and CO₂ (mg / m² / day) and climatic conditions (temperature, precipitation and relative humidity) in three stubble management (RV, RH y RH+Q). Finca El Tremedal, San Carlos, Costa Rica.

Cuadro 2. Factores de emisión (kg/ha/año) para tres tipos de manejo de rastrojo en el cultivo de piña. Finca El Tremedal, San Carlos, Costa Rica, 2017.

Table 2. Emission factors (kg/ha/año) for three types of stubble management in pineapple cultivation. Finca El Tremedal, San Carlos, Costa Rica.

GEI	Manejo de rastrojo		
	Verde (RV)	Herbicida (RH)	Herb + Quema (RH+Q)
CH ₄	926,42	1592,30	1294,81
CO ₂	1541,76	2455,72	2175,96

estándar; sin poner de manifiesto una tendencia clara a nivel de tipo de manejo de rastrojo o conforme transcurrió el tiempo en el periodo de rastrojo.

El rastrojo quemado con herbicida químico generó mayor cantidad de emisiones de CH₄ y CO₂ (1592,30 kg/ha y 2455,72 respectivamente), que el rastrojo de piña incorporado en verde y el rastrojo quemado con herbicida químico y fuego durante el periodo de rastrojo de la plantación.

Para el GEI metano (CH₄) el factor de emisión determinado para un año en rastrojo en verde (RV) fue de 926 kg/ha, para rastrojo con herbicida químico (RH) fue de 1592,30 kg/ha y para el rastrojo herbicida químico + quema con fuego (RH+Q) fue 1297,81kg/ha.

Para el GEI metano (CO₂) el factor de emisión determinado para un año en rastrojo en verde (RV) fue de 1541,76 kg/ha, para rastrojo herbicida químico (RH) fue de 2455,72 kg/ha y para el rastrojo herbicida químico + quema con fuego (RH+Q) fue 2175,96 kg/ha.

Recomendaciones

- Incluir en estudios similares el gas de efecto invernadero N₂O debido a que está presente en la agricultura y es más potente que el CO₂ y el CH₄.
- Realizar análisis de suelo en cada momento de muestreo de GEI para observar un comportamiento más exacto de los componentes del mismo.
- Pesar las plantas de piña al inicio y al término de la etapa de rastrojo para conocer la pérdida en materia orgánica.

Agradecimiento

Este trabajo es una contribución al proyecto FEES “Emisión de gases de efecto invernadero, mejoramiento de la métrica”, coordinado por el Laboratorio de Química Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la UNA y la Escuela de Agronomía del ITCR.

Bibliografía

[1] CANAPEP (Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña), “Exportaciones de piña

fresca”, 2019. [Online]. Consultado: setiembre 2018. Disponible en: <https://canapep.com/estadisticas/>.

- [2] J. De Pablo Valenciano, V. Tassile, M. Giacinti, “Cambios en el modelo del comercio internacional de piña en Costa Rica”, *Revista Agroalimentaria*, vol. 23, no. 44, pp. 45-60, 2017.
- [3] L. González Alfaro, Manual técnico para el manejo de rastrojos en el cultivo de piña, MAG/SFE, 2012.
- [4] J. R. Alpizar, L. R. Villegas, S. Madrigal, M. Sibaja, “Utilización de la biomasa residual del cultivo de piña (*Ananas comosus*) para la desproteínización enzimática de los desechos de la actividad camaronera”, *UNICIENCIA*, vol. 27, no. 1, pp. 156-170, 2013.
- [5] R. A. Hernández-Chaverri, Prado, L. A., “Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica”, *Cuadernos de Investigación UNED*, vol. 10, no. 2, pp. 455-468, 2018.
- [6] L. Gil, “Costa Rica prepara el terreno para una agricultura climáticamente inteligente”, *Boletín del OIEA*, Mar., pp. 10-11, 2017.
- [7] S. Alavez-López, R. Russo, “Utilización eco-eficiente de residuos agrícolas en la mitigación del cambio climático en Costa Rica”, *Revista científica Monfragüe*, vol. 9, no. 2, pp. 29-51, 2017.
- [8] CONARE (Consejo Nacional de Rectores), “Emisiones de Gases Efecto Invernadero: mejoramiento de métricas en acciones de mitigación y adaptación al cambio climático. Formulario para la formulación de proyectos con recursos del fondo del sistema”. Costa Rica. 24 p. 2015.
- [9] D. León, “Diagnóstico y dinámica poblacional de nematodos en el cultivo de piña (*Ananas comosus*) (L.) Merr., Finca el Tremedal S.A. San Carlos”, Tesis Lic., Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, Alajuela, 2007.
- [10] Universidad Nacional (UNA). Escuela de Ciencias Ambientales, Laboratorio de Análisis Ambiental. Procedimiento de método de análisis. PMA-050 Determinación de flujos de emisión de metano y óxido nítrico en aire. Fecha de implementación: 20/04/2016, ejemplar 02, versión 006. Heredia, Costa Rica. 11 pág. 2016.
- [11] JA. Di Rienzo, F. Casanoves, M. Balzarini, L. González, M. Tablada, C. Robledo, InfoStat versión 17-11-2016. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2017.
- [12] I. Bermejo, “Agricultura y cambio climático”, *Revista Ecologista*, no. 67, 2010.
- [13] Worldwatch Institute. State of the world, 2004: a Worldwatch institute report on progress toward a sustainable society. WW Norton & Company. 2004.
- [14] F. Navarro-García, M. A. Casermeiro, J. Schimel, “When structure means conservation: Effect of aggregate structure in controlling microbial respon-

- ses to rewetting events”, *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 44, pp. 1-8, 2012.
- [15] M. Blasco, Curso de microbiología de suelos. Turrialba, Cartago, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1970.
- [16] F. Keppler, J. Hamilton, M. Braß, T. Röckmann, “Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions”, *Nature*, vol. 439, pp. 187-191, 2006.
- [17] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Libro de trabajo para el inventario de Gases de Efecto Invernadero (en línea). Consultado: 09-07-2018. En: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/spanish.html>.
- [18] E. Castro. Información personal. Guácimo, Limón. Director de la Unidad de Carbono Neutro de la Universidad EARTH, Consultado: 15 de octubre del 2018.
- [19] A. G. Zavarzin, “The role of biota in global climate change”, *Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 48, no. 2, pp. 265–272, 2001.

De acuerdo con la norma IEEE, este documento debe citarse:

T. Fallas-Rojas, Z. Ramírez Vargas, “Factores de emisión de CH₄ y CO₂ en rastrojo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr. var. *comosus*), en San Carlos, Costa Rica”, *Revista AgroInnovación en el Trópico Húmedo*, vol. 2, no. 1, pp.2-11, 2019, DOI: 10.18860/rath.v2i1.4687