

# TENDENCIA DE LA EMISIÓN DE GASES CON EFECTO INVERNADERO EN BANANO Y PLÁTANO EN COSTA RICA

*Johnny Montenegro-Ballesteros<sup>1</sup>*

## RESUMEN

**Tendencia de la emisión de gases con efecto invernadero en banano y plátano en Costa Rica.** En Costa Rica, la producción de banano y plátano es muy importante por la generación de empleo y divisas, sin embargo, en el proceso productivo se emiten gases con efecto invernadero (GEI) que estimulan el calentamiento global, razón por la cual existe interés en el desarrollo de opciones de mitigación. Para lograrlo, es necesario conocer la magnitud de estas por lo cual se desarrolló esta investigación para determinar la evolución de las emisiones GEI generadas en el proceso productivo primario en banano y plátano y su relación con producción, productividad y el valor de la producción. Para ello se recopiló información de áreas sembradas, producción anual, manejo agronómico de los cultivos y precio del producto pagado al productor desde 1990 y hasta el 2019. Para calcular la emisión de GEI provenientes de la fertilización nitrogenada, enmiendas al suelo y del uso de hidrocarburos en la aplicación de productos fitosanitarios se utilizó la metodología del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. Con la información anterior, se confeccionaron figuras para mostrar tendencias y se estimaron las relaciones antes mencionadas. Se determinó que la emisión GEI se incrementó en la década de los 90's para mostrarse relativamente estable a partir del 2000. La eficiencia de emisión expresada en  $\text{kg CO}_2\text{eq t}^{-1}$  producida y en  $\text{t CO}_2\text{eq millon}^{-1}$  colones mejoraron con el tiempo, ya que disminuyeron sus valores; en plátano con colones constantes se muestra un comportamiento inverso en los últimos años. Se presentan opciones de mitigación que podrían mejorar los valores de las relaciones determinadas. Se concluye que la emisión ha mostrado estabilidad a partir del 2000 y que el precio ha sido modelador de la misma, siendo la fertilización nitrogenada la principal fuente de emisión.

**Palabras clave:** Banano, Cambio climático, Cultivos tropicales, Eficiencia de emisión, Mitigación, Plátano.

## ABSTRACT

**Greenhouse gas emission trend in banana and plantain in Costa Rica.** In Costa Rica, banana and plantain production is very important due to the generation of employment and foreign exchange, however, GHGs are emitted in the production process, and because of that there is interest in developing mitigation options. This research was carried out to determine the GHG emission trend in the primary production process in bananas and plantains crops, and their relationship with production, productivity and its economic value. Data of area, annual production, crop agronomic management, and price paid to the producer were collected since 1990 and up to 2019. The IPCC methodology was used to calculate GHG emissions from nitrogen fertilization, soil amendments, and hydrocarbons utilized for the application of phytosanitary products. With this information, figures were made

<sup>1</sup> Investigador en Cambio Climático y Agricultura, Convenio: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Agropecuaria, INTA – Instituto Meteorológico Nacional, IMN, Costa Rica. Correos: [jmontenegro@imn.ac.cr](mailto:jmontenegro@imn.ac.cr), [jmontenegro@inta.go.cr](mailto:jmontenegro@inta.go.cr). Teléfono: (506) 2222-5616. ORCID:0000-0001-8526-570X.

to show trends and the aforementioned relationships were estimated. It was determined that the GHG emission grew in the 90's decade to be relatively stable after 2000 (with important oscillations in the plantain crop). Emission efficiency ( $\text{kg CO}_2\text{eq t}^{-1}$  produced) improved over time as the values have been decreasing. A direct and positive effect of income was also determined, since the relationship  $\text{t CO}_2\text{eq million}^{-1}$  colones decreased its values over time, although in plantain with constant colones an inverse trend has been shown in recent years. Mitigation options are presented that could improve the values from the determined relationships. It is concluded that the emission has shown stability since 2000, and the price has modeled the GHG emission, with nitrogen fertilization being the main emission source.

**Keywords:** Banana, Climate change, Emission intensity, Mitigation, Plantain, Tropical crops.

## INTRODUCCIÓN

El banano es un cultivo muy importante, del cual se obtiene un alimento de gran calidad nutricional, y durante el proceso productivo genera gran cantidad de empleos. En Costa Rica esta actividad por el volumen de exportación produce ingresos que representan 7,6 % de las exportaciones totales y 43 % del Producto Interno Bruto Agrícola (CORBANA, 2021).

Este sector productivo, al igual que otros del sector agropecuario son afectados de manera negativa por el cambio climático que se produce como resultado del calentamiento global por la acumulación en la atmósfera de los gases con efecto invernadero (GEI), lo cual pone en riesgo económico y social la actividad misma y a las personas que de ella dependen.

La emisión de GEI se presenta en diferentes actividades desarrolladas por la actividad humana, entre las cuales la agricultura no es excepción. Este tipo de gases se genera en diferentes prácticas agrícolas implementadas durante el proceso productivo.

De acuerdo con el Inventario Nacional de GEI (INGEI) realizado para el 2015 (MINAE 2019), la emisión del cultivo del banano y plátano, en equivalentes de  $\text{CO}_2$ , sin incluir las actividades donde se usa maquinaria de combustión interna representó 10,7 % del sector agrícola.

El peso relativo que este sector tiene en las emisiones del país es importante, y es por ello que existe gran interés en su cuantificación y dar seguimiento a las emisiones de GEI. Esto permite

determinar patrones, y conocer variables que influyen el comportamiento determinado. Esta información es muy importante ya que permitirá de manera más técnica, desarrollar opciones de mitigación, logrando con ello un producto más sostenible y amigable con el ambiente.

El sector bananero consiente de esta situación, ha decidido participar activamente para contribuir a la solución de la problemática global del cambio climático y apoya la formulación de Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA por sus siglas en ingles) en musáceas.

El NAMA vendrá a desarrollar opciones de mitigación de acuerdo con el sistema de producción y condiciones propias de las regiones donde se ubican estos cultivos, por lo que se requiere disponer de información tan precisa como sea posible de manera que se pueda utilizar con confianza, pero también con base técnica sólida.

En concordancia con lo anterior, el presente documento mediante el análisis de información histórica y actualizada, y utilizando la metodología sugerida por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en ingles), pretende proporcionar una visión amplia de la tendencia en la emisión de GEI derivada de la actividad primaria de estos cultivos desde 1990.

No existe documento alguno que haya realizado un estudio de tendencias en el tiempo de la emisión generada en el sector primario para ambos cultivos en Costa Rica, ya que el único trabajo disponible se limitó al cultivo del banano e incluyó solo las emisiones de óxido nitroso proveniente de

la fertilización nitrogenada (Montenegro 2016). De igual forma, la disponibilidad de estudios similares realizados a nivel internacional es sumamente reducido, lo cual limita la comparación de principales fuentes, magnitudes, y eficiencia.

Actualmente en Costa Rica existe gran interés, tanto de parte del Gobierno de la República como de la empresa privada, en procurar reducir la emisión de GEI a la atmósfera por el beneficio generado a nivel global; como también, por la obtención de productos ambientalmente más limpios que podrían ser comercializados y colocados en mercados preferenciales.

El sector agrícola constituye uno de los sectores interesados en disponer de este tipo de estudios por las implicaciones positivas que de los mismos se derivan, y especialmente, por poder demostrar mediante evaluaciones, las bondades ambientales

ligadas a la producción primaria. En este sentido, la actividad bananera costarricense ha mostrado ser proactiva y visionaria en esta iniciativa y emprendimiento, ya que se ha preocupado por desarrollar e implementar medidas y regulaciones protocolarias orientadas a establecer tanto buenas prácticas agrícolas (BPA), como las dirigidas a la reducción del uso de agroquímicos durante el proceso productivo con el propósito fundamental no solo de reducir las implicaciones ambientales ligadas al cambio climático, sino también para mejorar la ecoeficiencia en el proceso productivo.

Basado en lo anterior, los objetivos de esta investigación fueron: determinar la evolución de las emisiones GEI, desde 1990 y hasta el 2019, que se generaron durante el proceso productivo primario en los cultivos de banano y plátano, y determinar si existe relación de la emisión con la productividad y, con el valor de la producción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Recopilación de información

El análisis desarrollado abarcó desde 1990 y hasta el 2019. Para esta investigación se utilizaron estadísticas de área sembrada de banano, así como de producción, reportada en diferentes informes anuales por la Corporación Bananera Nacional (CORBANA 1995, CORBANA 1998, CORBANA 2004, CORBANA 2009, CORBANA 2013, CORBANA 2017, CORBANA 2018). También se utilizaron diferentes números del Boletín Agropecuario de la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA 1998, SEPSA 2000, SEPSA 2002, SEPSA 2004, SEPSA 2007, SEPSA 2011, SEPSA 2014, SEPSA 2017), para complementar la información productiva. Con estos datos se calculó la productividad.

Con datos del Banco Central suministrados por SEPSA se obtuvo la información del valor bruto de la producción (VBP), tanto en colones corrientes como encadenados al 2012. Utilizando estos datos se obtuvo el precio promedio pagado al productor por caja y por tonelada, tanto para banano como para plátano.

Para el cultivo de plátano, la información de área sembrada y producción provino de los boletines de SEPSA antes referenciados.

### Cálculo de la emisión de gases con efecto invernadero

La metodología utilizada en este proceso es la sugerida por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés, 2006) misma que utiliza el Instituto Meteorológico Nacional para realizar el INGEI.

### Emisión de $N_2O-N$ del suelo

Para estimar la emisión de óxido nitroso proveniente del suelo en el cultivo de banano, se utilizaron los factores de emisión (FE) resultado de investigaciones realizadas en el país (Veldkamp y Keller 1997, Montenegro y Abarca 2001, Montenegro *et al.* 2012). Debido a que no se dispone de resultados de investigación en FE para el cultivo de plátano, se utilizó el FE sugerido por el IPCC.

## Emisión de CO<sub>2</sub> por la aplicación de enmiendas calcáreas al suelo

La disponibilidad de datos relacionados con el uso y la aplicación de productos para corregir la acidez del suelo, y con ello favorecer el desarrollo de radicular y por ende el del cultivo, es baja y difícil de conseguir. Por lo anterior se utilizó la opinión de expertos ligados al manejo de estos cultivos para estimar la utilización de enmiendas. Mediante consulta se estimó que en el cultivo de banano en promedio se aplica aproximadamente una tonelada por hectárea cada dos años. En el caso del plátano la aplicación es menor, siendo de alrededor del 10 % de la del banano.

## Emisión GEI por la aplicación aérea de productos fitosanitarios

La aplicación de productos fitosanitarios, especialmente fungicidas, se realiza con la utilización de avioneta tipo Thrush, de la cual se estimó el consumo de combustible de acuerdo con datos confidenciales accesados de una finca comercial de banano. Para estimar el total de combustible utilizado por año, el consumo de combustible por hectárea se multiplicó por el área total cultivada de banano y por la cantidad de aplicaciones realizadas por año. El número de aplicaciones se obtuvo de Vargas *et al.* (2017), y se realizó interpolación lineal entre los años en los cuales no se dispuso de información al respecto.

Con el empleo de los factores de emisión sugeridos por el IPCC se obtuvo la cantidad de metano, óxido nitroso y CO<sub>2</sub> liberado por la combustión de esta fuente energética. En el cultivo de plátano no se utiliza la aplicación aérea debido al tamaño relativamente pequeño de las fincas.

Lo emisión proveniente de cada uno de los gases de las diferentes fuentes para cada cultivo se transformaron a dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) de acuerdo con los valores establecidos por la Convención Marco para el Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCCNU).

## Eficiencia de emisión

Para calcular la eficiencia de emisión también conocida como intensidad de la emisión

(cantidad de gas emitido por unidad de producto obtenido), el total de CO<sub>2</sub>eq emitido en cada cultivo se dividió entre las toneladas producidas. También se estimó esta relación para la emisión con respecto al ingreso en colones generado para cada cultivo.

## Límites del estudio

Esta evaluación se desarrolló enfocando exclusivamente la producción primaria que se lleva a cabo en las áreas productoras, por lo que considera solo las emisiones de N<sub>2</sub>O-N provenientes de la fertilización nitrogenada, así como también de este gas, el metano y el CO<sub>2</sub> generado durante la combustión interna de combustible utilizado por las avionetas que aplican productos fitosanitarios. También se incluye la emisión de CO<sub>2</sub> proveniente de la aplicación de enmiendas calcáreas al suelo.

Debido a que no se dispone de información detallada de variaciones en las dosis de fertilizante aplicadas, entre años y entre productores, se utilizó una cantidad constante de 300 kg de nitrógeno ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup> de cultivo, de acuerdo con Montenegro *et al.* (2012).

Este análisis no incluyó el potencial cambio que podría estar ocurriendo con el carbono orgánico del suelo en los terrenos dedicados a la siembra de banano o plátano debido a que no se dispone de información concluyente al respecto.

No se incluye tampoco las emisiones de motores de combustión interna terrestres utilizados en diversas operaciones durante el proceso productivo, ni se incluye la fase de selección y empaque de la fruta.

## Manejo estadístico de los datos

Con los datos disponibles se procedió a realizar figuras para mostrar tendencias y se calcularon relaciones entre las siguientes variables: emisión GEI con producción e ingreso. También se realizaron análisis de correlación con las siguientes variables: área, productividad, precio pagado al productor, valor de la producción y, emisión de GEI.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Banano

#### Generalidades

##### Área y productividad

El área sembrada de banano, luego del crecimiento que se observó al inicio de la década del 90 donde alcanzó la mayor extensión entre 1994 y 1996, se redujo posteriormente y hasta el 2002, para mantenerse relativamente estable a partir de ese año (Figura 1). La reducción en la disponibilidad de terreno y el precio de este limitaron la expansión de esta actividad agrícola a partir del 2000.

Con respecto a la productividad, la misma presenta variaciones interanuales, las cuales están directamente ligadas a fenómenos meteorológicos extremos, principalmente inundaciones (Vallejos *et al.* 2012), lo cual condujo a reducciones importantes (Figura 1). Sin embargo, particularmente a partir del 2000 se observa una clara tendencia al incremento de la productividad, aunque se mantiene la variabilidad interanual que resulta del efecto climático antes mencionado.

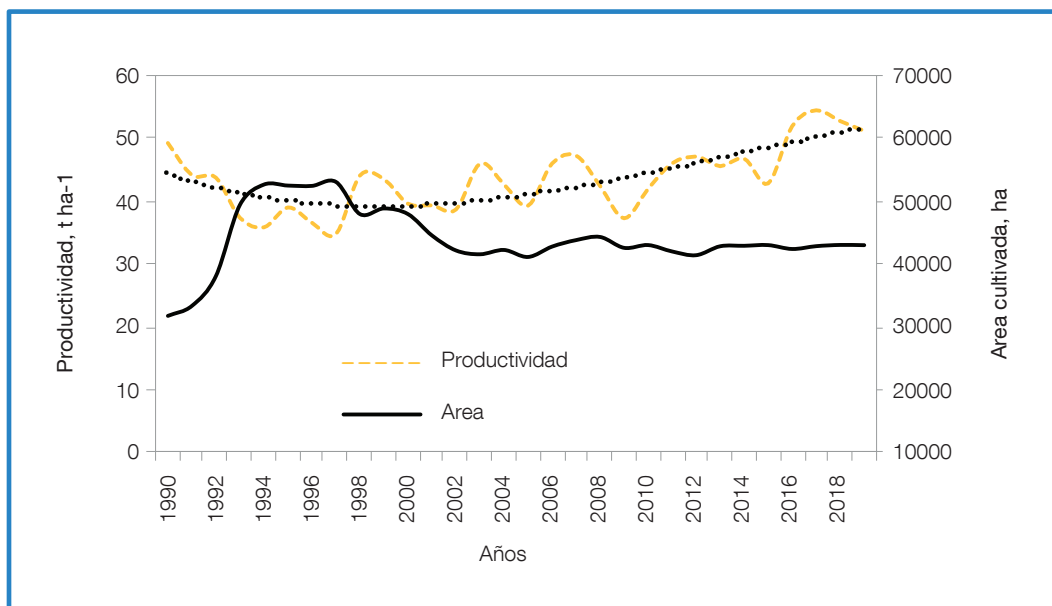


Figura 1. Área cultivada de banano, ha, y productividad, t ha<sup>-1</sup>, desde 1990 y hasta el 2019. Costa Rica.

## Precio por caja exportada

El precio en colones corrientes, que los productores reciben por caja de banano exportada, ha mantenido clara tendencia al alza (Figura 2). La figura también muestra algunos periodos donde el precio se ha estabilizado, tal como ocurrió desde el 2010 y hasta el 2013, y nuevamente a partir del 2015.

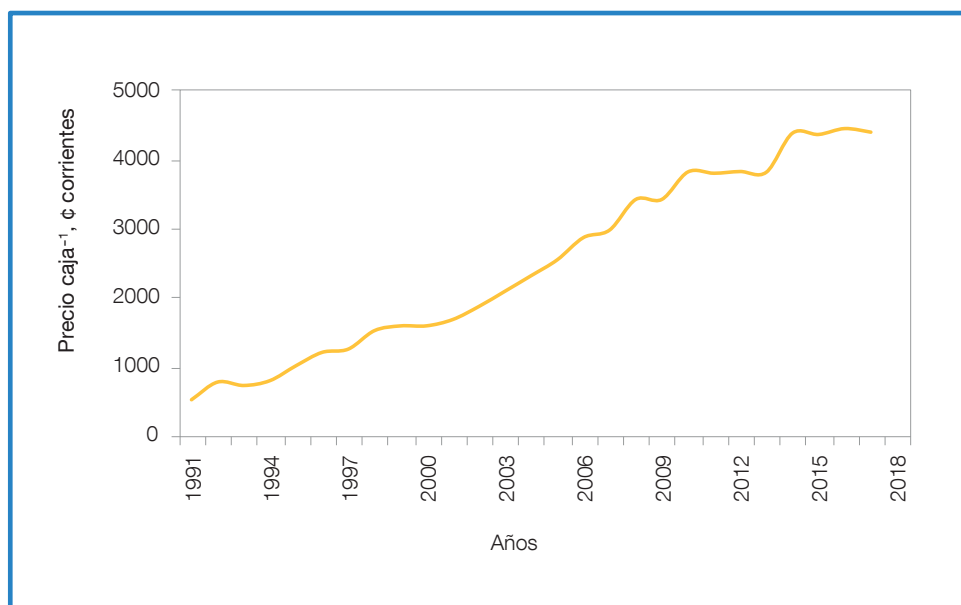


Figura 2. Precio, en colones corrientes, pagado al productor por caja de banano exportada. Costa Rica.

El precio pagado al productor durante la década de los 90's estimuló el incremento del área sembrada (Figura 3a), lo cual es mostrado por la correlación determinada entre estas dos variables ( $P < 0,0283$ ). Sin embargo, a pesar de que el precio continuó incrementándose, ello no se tradujo en más área de siembra a partir del 2000 (Figura 3b), lo cual se explica en parte por la reducción de terrenos disponibles y el precio de estos.

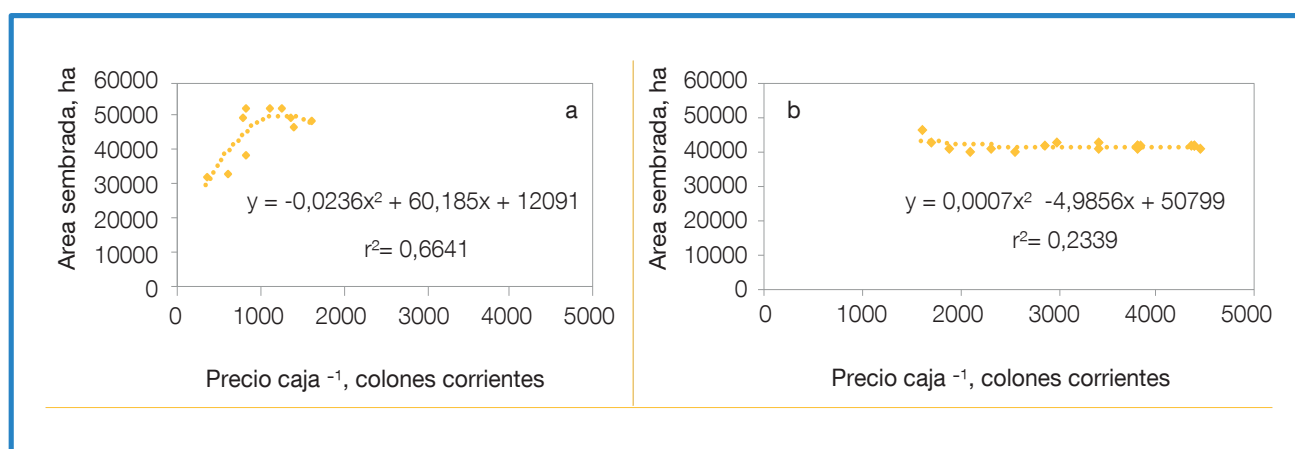


Figura 3. Relación entre el precio pagado al productor, colones corrientes por caja, y área cultivada de banano, a: en los 90's y b: después del 2000. Costa Rica.

## Emisión GEI

La emisión de GEI proveniente de la aplicación de fertilizantes nitrogenados es la principal fuente, y representa el 82,6 % del total, en segundo lugar (12,8 %) aparece la aplicación de enmiendas al suelo para corregir la acidez de este, y finalmente, la aplicación de productos fitosanitarios por medios aéreos representa menos del 5 % del total.

La emisión total de GEI, en equivalentes de CO<sub>2</sub>, se ha mantenido relativamente estable en los últimos años (Figura 4) después del incremento observado en la década del 90 como resultado

del aumento del área de siembra (Figura 1), donde el mejoramiento de la productividad parece no afectar la emisión total (Figura 4).

En términos nacionales, la emisión GEI en esta actividad de acuerdo con el más reciente Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero del 2017 (MINAE 2021), representó el 15,7 % del sector agrícola, 2,9 % del sector agropecuario, 0,8 % de la emisión bruta nacional y, 0,6 % de la emisión neta nacional.

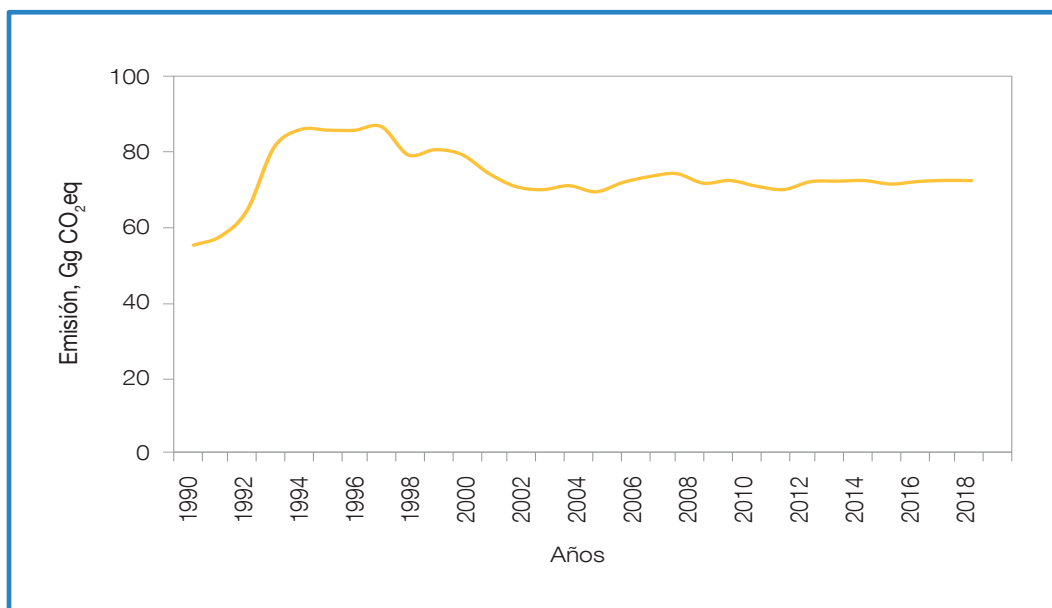


Figura 4. Emisión total de CO<sub>2</sub>eq, t año<sup>-1</sup>, proveniente del suelo bajo el cultivo de banano. Costa Rica.

## Eficiencia de emisión

### Emisión vs producción

La emisión de CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de banano ha fluctuado en el tiempo, y a pesar de las variaciones interanuales observadas, se nota de manera clara como esta relación tiende a mejorar, especialmente después del 2002, ya que los valores han ido disminuyendo con el tiempo (Figura 5), es decir, en promedio cada vez se emite menor cantidad de CO<sub>2</sub>eq por tonelada de banano producido.

De acuerdo con la tendencia observada con la curva de mejor ajuste, del 2000 al 2019, la emisión de CO<sub>2</sub>eq se redujo 9,8 kg t<sup>-1</sup> banano exportado. Ello indica que, el sector bananero dejó de emitir 478,7 toneladas de CO<sub>2</sub>eq año<sup>-1</sup> en el periodo referenciado. Es importante resaltar el hecho de que en el último año evaluado (2017) se produjeron más toneladas de banano que en el 2000.

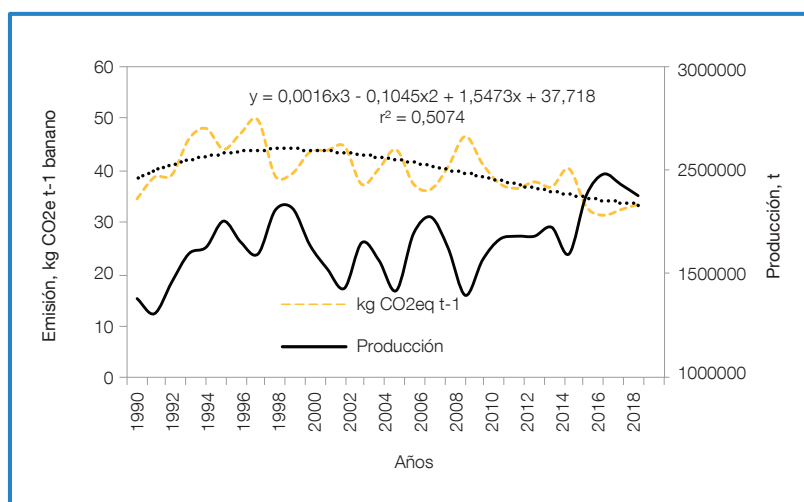


Figura 5. Relación entre la emisión y la producción de banano. Costa Rica.

El mejoramiento en esta relación es el resultado del incremento en la productividad (Figura 1), y no del aumento del área sembrada (Figura 1) y refleja la mejora en la eficiencia productiva que este sector ha alcanzado en los últimos años. Esto también demuestra que es posible incrementar los rendimientos productivos al mismo tiempo que se logra mitigar las emisiones de GEI.

El valor de la eficiencia de emisión fue de  $0,041 \text{ kg de CO}_2\text{eq kg}^{-1}$  de banano, para el promedio del periodo considerado y de  $0,034 \text{ kg de CO}_2\text{eq kg}^{-1}$  de banano para último año analizado. Ambos valores son bastante inferiores a los reportados para Colombia (1,2,3) y Guatemala (0,11) por Páez (2017). Diferencias metodológicas y de los alcances de los estudios explican las diferencias en los valores señalados.

## Emisión vs ingreso

El valor de la relación entre la emisión y el ingreso, independientemente si son colones corrientes o constantes, se ha venido mejorando en el tiempo (Figura 6).

En el caso de colones corrientes, es claro el mejoramiento de esta relación puesto que, a partir de 1990, cada año se redujo en promedio la emisión en  $0,063 \text{ t de CO}_2\text{eq}$  por cada millón de colones que ha ingresado al país como resultado de la venta de esta fruta. Al comparar los valores de esta relación del 2019 con los de 1990, se obtiene la disminución de  $1,2 \text{ t de CO}_2\text{eq}$  emitido por cada millón de colones (Figura 6).

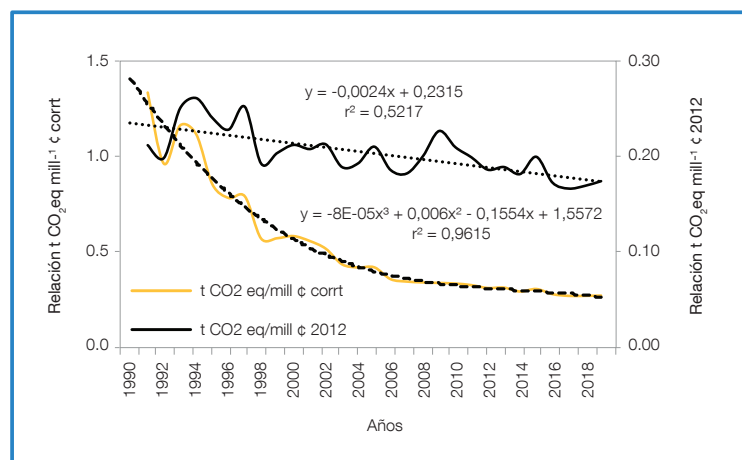


Figura 6. Emisión de  $\text{CO}_2\text{eq}$  por millón de colones en la actividad bananera. Costa Rica.



En colones constantes, referenciados al 2012, la tendencia de la reducción es lineal con pendiente negativa, y el valor pasó de 0,19 t de CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> banano en 1991 a 0,16 en el 2019. Sin embargo, si se observa que el mayor valor (0,26) se presentó en 1994, la reducción determinada es de 0,10 t de CO<sub>2</sub>eq por cada millón de colones de ingreso por la exportación de banano.

En todo caso, lo interesante a observar es que, en cualquiera de las dos modalidades, colones corrientes o constantes, la tendencia es clara, se disminuye la emisión por millón de colones que ingresa al país. Esto es muy importante pues

indica que el sector bananero ha venido mejorado paulatinamente su eficiencia productiva, contribuyendo al mismo tiempo con el ambiente, en este caso ligado al cambio climático.

Se determinó correlación significativa (P<0,0001) entre el precio que los productores recibieron por tonelada de banano y la emisión de GEI en la década de los 90's (Figura 7a). Esto se explica por el hecho de que el incremento en el precio (Figura 2) estimuló el incremento del área sembrada (Figura 1), lo cual a su vez aumentó la emisión de GEI (Figura 4), aunque ello no fue de manera proporcional.

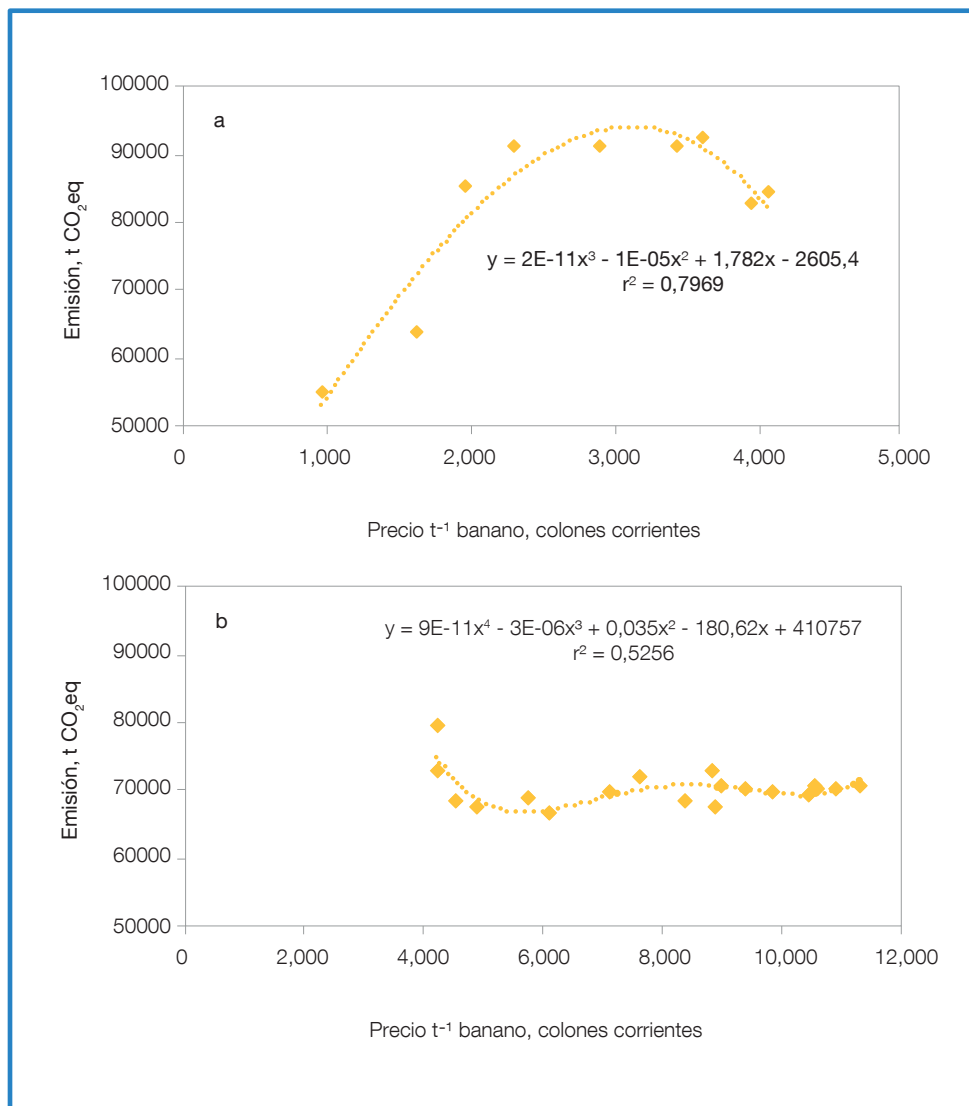


Figura 7. Relación entre la emisión y el ingreso en colones corrientes por exportación de banano en (a) los 90's y (b) después del 2000. Costa Rica.

Después del 2000 la correlación entre el ingreso y las emisiones no fue significativa (Figura 7b). Ello se explica por el hecho de que el ingreso crece como resultado del incremento de la productividad, no por aumento del área productiva (Figura 1), lo que en consecuencia hace que no se incrementen las emisiones GEI. Limitaciones para expandir el área de siembra hace que los productores busquen la forma de producir más en el mismo terreno, y al producir más, consecuentemente generan más ingresos sin que ello impacte positivamente las emisiones, lo cual es lo que se refleja en la figura 7b.

## Plátano

### Área sembrada y productividad

El área sembrada de plátano se incrementó desde 1990 y hasta el 2002 (Figura 8), con reducciones en algunos años (1994 y 2000) como consecuencia de problemas causadas principalmente por inundaciones (Vallejos *et al.* 2012). A partir de ese año, y con la excepción de la disminución observada en el 2005 y el 2008 resultado de pérdida de plantaciones por inundaciones (Vallejos *et al.* 2012), el área cultivada se ha mantenido relativamente estable (Figura 8).

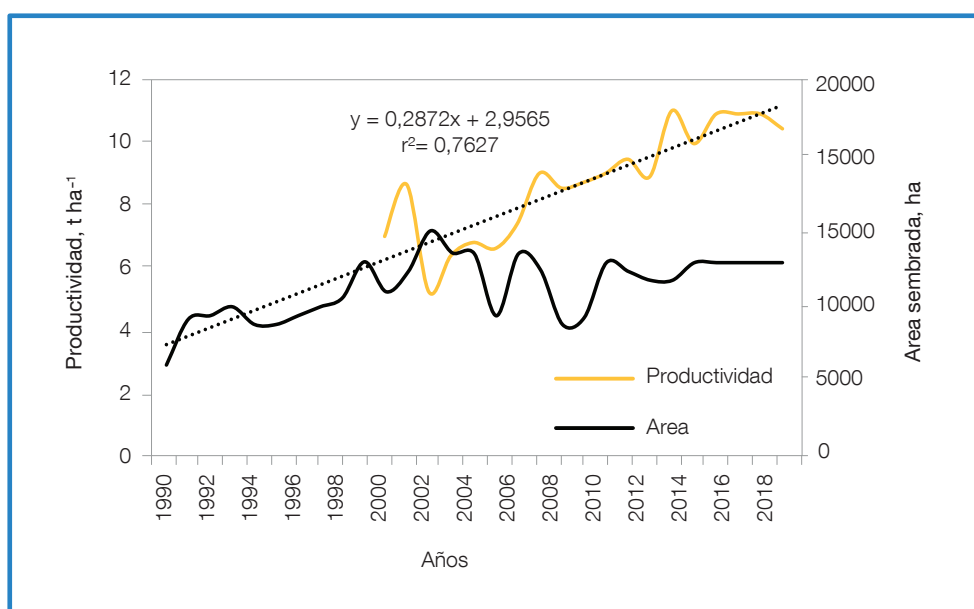


Figura 8. Área cultivada de plátano, ha, y productividad, t ha<sup>-1</sup>. Costa Rica.

La productividad, cantidad producida por unidad de área, muestra un incremento lineal, pasando de 5,0 t ha<sup>-1</sup> en el 2002 a 10,5 t ha<sup>-1</sup> en el 2018 (Figura 8), lo cual implica un incremento promedio de 0,34 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. La limitada disponibilidad de terreno ha contribuido con el incremento de la productividad, ya que los productores mejoran el manejo para aumentar la producción en la misma área sembrada.

Las reducciones observadas en productividad se explican en buena medida por la reducción de

la producción como consecuencia de la afectación de las plantaciones por las inundaciones. De igual forma, los incrementos observados se explican por la mejora en la producción que ocurre normalmente durante el primer año luego de la siembra, debido a que toda la plantación tiende a producir al mismo tiempo por la uniformidad de edad de la cepa.

Lo anterior se aprecia claramente en el desacople de la producción con el área sembrada, particularmente en los últimos años (Figura 9).

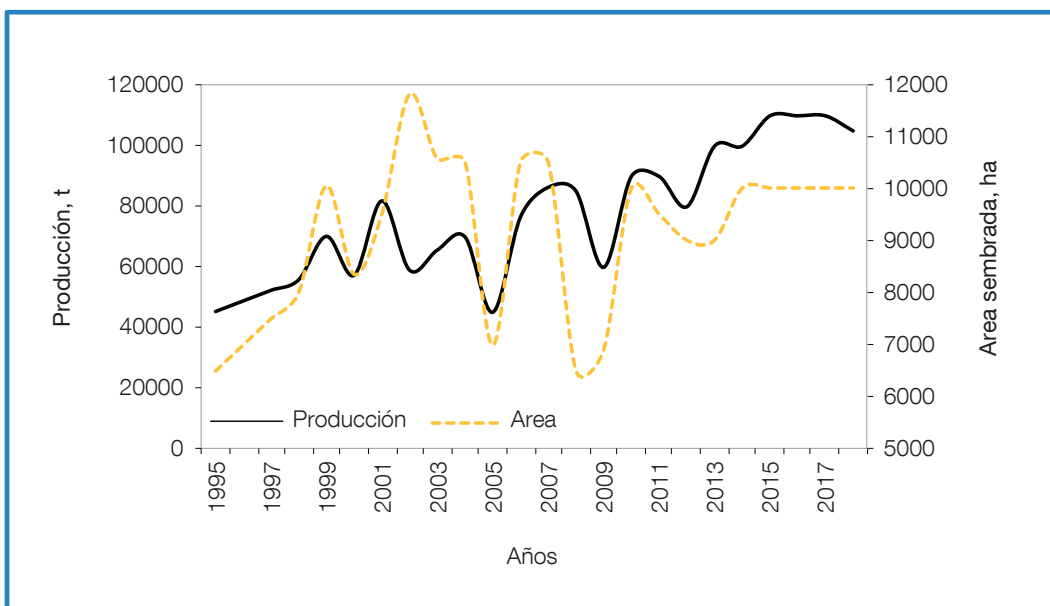


Figura 9. Producción, t, área sembrada, ha, de plátano. Costa Rica.

### Precio por tonelada

El precio, en colones corrientes que recibe el productor por tonelada de plátano, ha fluctuado en el tiempo, donde destaca el descenso observado a finales de los 90's e inicio del 2000, y el incremento posterior y hasta el 2005 y en el 2009 (Figura 10). Luego de 4 años con alguna fluctuación, pero relativamente estable, a partir del 2014 se nota una tendencia al alza. Esas fluctuaciones se presentan como resultados de oferta y demanda, ya que el área cultivada (Figura 9) se ha mantenido estable en los últimos años.

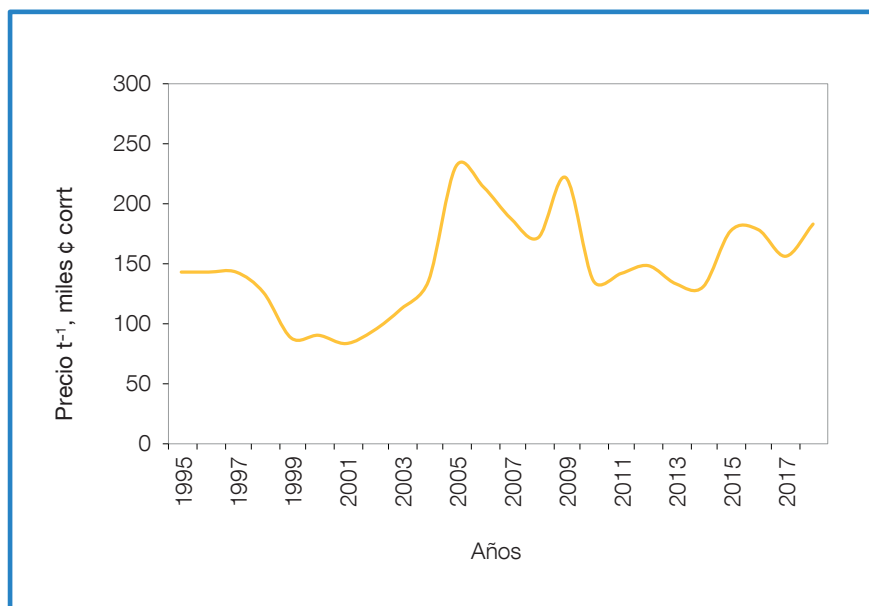


Figura 10. Precio, en colones corrientes, pagado al productor por tonelada de plátano. Costa Rica.

Los problemas causados por las inundaciones reducen la producción y consecuentemente la oferta, por lo que al mantenerse la demanda los precios se incrementan. Eso se puede apreciar claramente en el incremento de precio determinado en el 2005 y el 2009 (Figura 10), que es el resultado de reducción del área sembrada y de la producción (Figura 9) por problemas causados por inundaciones (Vallejos *et al.* 2012). El sentido opuesto de esta relación, más oferta con efecto negativo en los precios, se puede observar en 1999, 2001, 2008, 2010, 2014 y 2017 (Figura 10).

El análisis de correlación mostró que el precio está directamente ligado con la productividad ( $P < 0,0001$ ), observándose que conforme el precio mejora también lo hace la productividad (Figura 11). La reducción en los valores de la relación cuando los precios son altos se explica por fenómenos meteorológicos extremos relacionado con inundaciones, las cuales afectaron negativamente las plantaciones y en consecuencia la producción y la productividad obtenida, lo cual causó el incremento del precio.

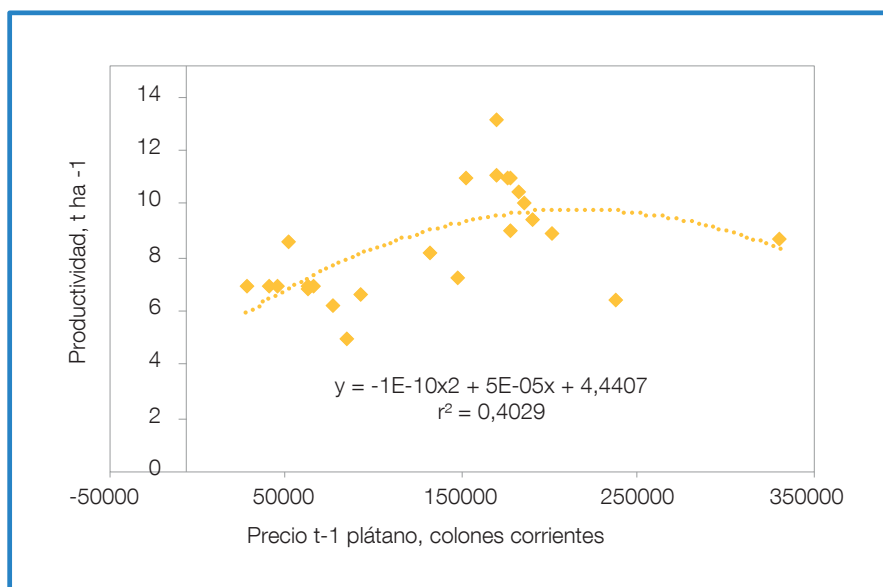


Figura 11. Relación entre la productividad,  $t\ ha^{-1}$ , y el precio en colones corrientes  $t^{-1}$  de plátano pagado al productor. Costa Rica.

## Emisión GEI

La emisión de GEI en este cultivo se debe mayoritariamente a la utilización de fertilizante nitrogenado (93 %) representando la aplicación de enmiendas al suelo el 7 %.

La emisión de GEI se incrementó durante la década de los 90's (Figura 12) como resultado del aumento del área sembrada (Figura 8), y se puede observar claramente como la reducción observada en el 2000, 2005 y el 2008, producto de fenómenos meteorológicos extremos (Vallejos *et al.* 2012), influenciaron la emisión. De igual forma, aquellos años donde se registraron las mayores áreas sembradas es donde se presenta la mayor emisión (Figura 12).

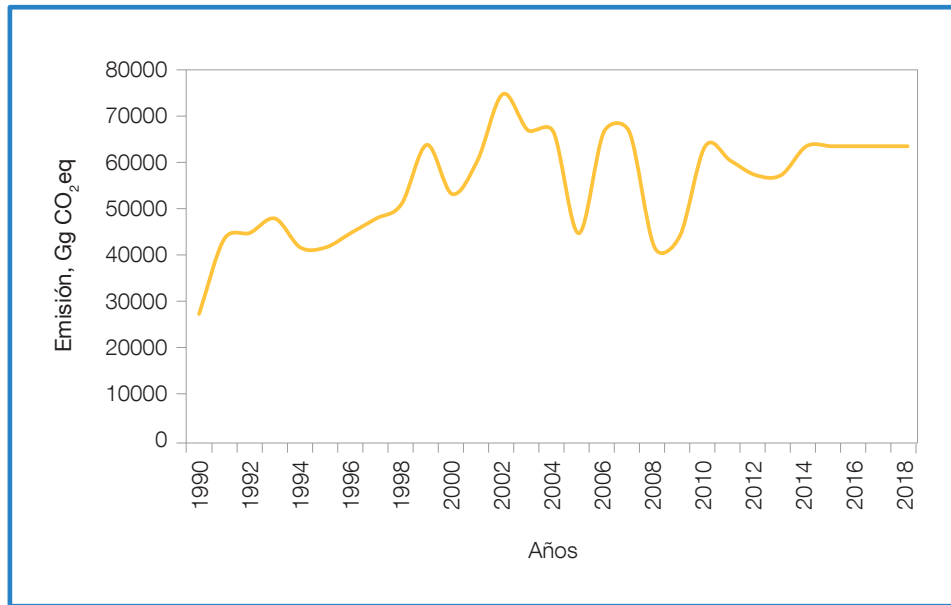


Figura 12. Emisión, t de CO<sub>2</sub>eq, proveniente del suelo bajo el cultivo de plátano. Costa Rica.

## Eficiencia de emisión

### Emisión y producción

La relación de la emisión con la producción ha mejorado en el tiempo, observándose tendencia a la reducción de la emisión por tonelada de plátano producida (Figura 13). La reducción total desde el 2000 y hasta el 2018 ha sido de 31,6 t de CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de plátano, para una disminución promedio anual de 1,75 kg de CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de plátano producido (Figura 13).

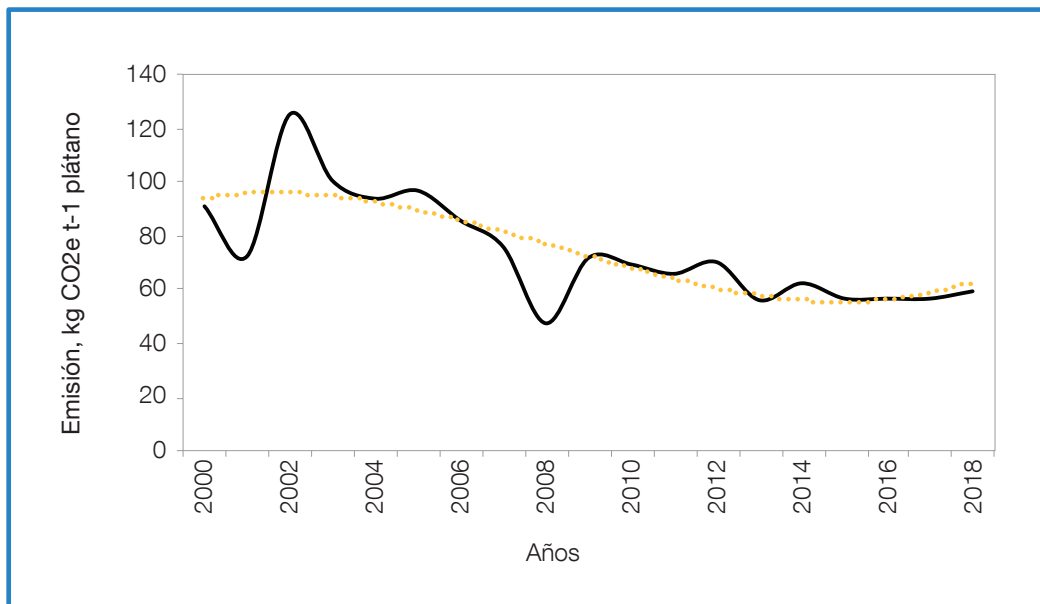


Figura 13. Relación entre la emisión de CO<sub>2</sub>eq y la producción de plátano. Costa Rica.

Si el punto de comparación iniciara en el 2002, donde se determinó la mayor emisión, la reducción promedio anual sería aún mayor (4,1 kg de CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de plátano producido); en todo caso la relación muestra la mejora en la eficiencia productiva que se ha venido presentando en el tiempo en este sector productivo, con tendencia a estabilizarse en los últimos años (Figura 13).

Las variaciones observadas en el valor de esta relación (Figura 13) se explican por el efecto de las condiciones climáticas extremas comentadas anteriormente y que afectaron negativamente la actividad, y ello incrementó los valores. En el caso de las reducciones determinadas, las mismas suceden por el aumento de la producción y productividad de las plantaciones recién sembradas.

## Emisión GEI y Valor Bruto de la Producción

La emisión de CO<sub>2</sub>eq por millón de colones corrientes, presenta un mejoramiento en esta relación, ya que los valores se redujeron de 4,21 t de CO<sub>2</sub>eq millón<sup>-1</sup> en 1991 a 0,32 t de CO<sub>2</sub>eq millón<sup>-1</sup> en el 2018. Ello significa que se han dejado de emitir 3,9 t de CO<sub>2</sub>eq por cada millón generado por la venta de la producción (Figura 14a), lo que para el intervalo considerado (27 años) el promedio anual es de 0,14 t de CO<sub>2</sub>eq por cada millón. Lo anterior se explica mayoritariamente por el incremento de la productividad, la cual ha mejorado linealmente desde el 2002 (Figura 8)

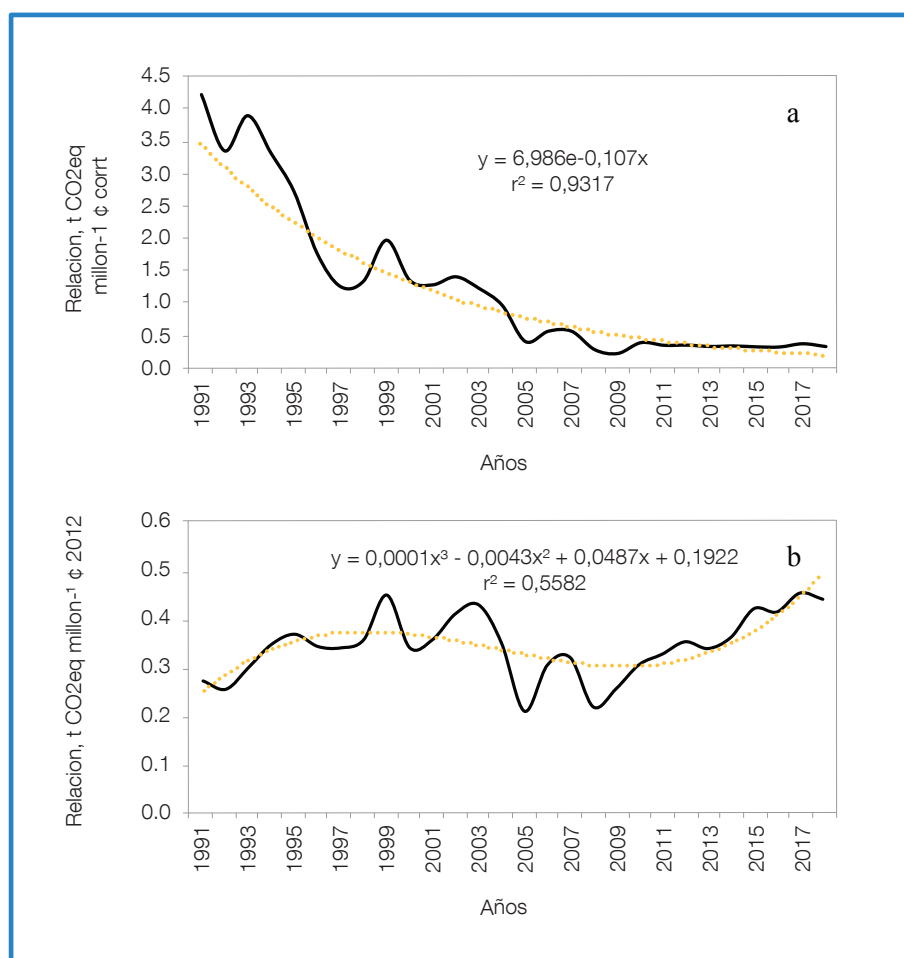


Figura 14. Emisión de CO<sub>2</sub>eq, por millón de colones corrientes (a) y constantes del 2012 (b), en la actividad platanera. Costa Rica.

El incremento en la productividad muestra claramente el esfuerzo que hace el productor, que, si bien recibe más colones corrientes por su producto, ello no hace que sus ingresos reales sean mejores. Esto queda claramente demostrado cuando se utilizan para esta relación colones constantes, en este caso encadenados al 2012 (Figura 14b).

La relación obtenida con colones constantes es diferente a la observada con colones corrientes, pues muestra un comportamiento polinomial (Figura 14b). En la década del 90 se presentó un incremento del valor de esta relación, lo cual indica que de 1991 a 1999 se emitió mayor cantidad de CO<sub>2</sub>e por cada millón generado en la venta de la producción, pues la emisión pasó de 0,26 a 0,44 t CO<sub>2</sub>e por cada millón. En la siguiente década, del 2000 al 2009, se presentó tendencia a la baja, aunque con bastante variación; a partir del 2010 nuevamente la tendencia es al incremento (Figura 14b).

El incremento general observado, es de una magnitud promedio anual de 6,3 kg de CO<sub>2</sub>e por millón de colones cuando se comparan los valores de esta relación correspondiente a 1991 con respecto a la estimada en el 2018.

## Opciones de mitigación

Diferentes prácticas podrían ser implementadas en el cultivo del banano y plátano con el propósito de contribuir a la reducción de la emisión del óxido nitroso que se deriva de la utilización de fertilizantes nitrogenados, principal fuente de emisión, algunas de las cuales se mencionan a continuación.

Una posibilidad es la aplicación de fertilizantes nitrogenados de lenta liberación que se constituye en una alternativa interesante, dado que no solamente reduce la cantidad aplicada, sino también la disponibilidad inmediata de este elemento luego de su aplicación, lo cual podría reducir además de los costos de producción, la emisión del óxido nitroso. Investigación realizada en nuestro país en diferentes cultivos (Montenegro *et al.* 2012, Montenegro y Herrera 2013) ha mostrado la ventaja de la utilización de este tipo de fertilizante.

La aplicación de fertilización en función de los requerimientos del cultivo, nivel de producción y condiciones de suelo y clima, bajo el concepto de agricultura de precisión (Alcaraz y Jiménez 2018), es una forma de lograr no solo mejor eficiencia de utilización del fertilizante nitrogenado aplicado, sino también de mejorar la producción y productividad, al tiempo que se podrían reducir los costos económicos y los ambientales ligados a la generación y liberación del óxido nitroso. Una herramienta fundamental que ayuda a definir las dosis óptimas de fertilización en los cultivos es la curva de extracción de nutrientes por la planta (Bertsch 2009). De tal forma que utilizando este enfoque es posible lograr objetivos de diversa índole: de costos, productivos y, ambientales, dentro de los cuales se encuentra la mitigación.

La utilización de coberturas vegetales es una práctica que se ha venido incentivando en diferentes cultivos y las musáceas no son la excepción, donde la presencia de leguminosas podría ser de gran valía por el aporte de nitrógeno que pueden hacer vía la simbiosis con bacterias quimioorganotrofas aerobias, grupo al que pertenece *Rhizobium* (Martínez *et al.* 2003, Mia *et al.* 2013). La reducción potencial en la cantidad de nitrógeno sintético que se podría lograr no solo disminuiría la emisión de este gas, sino también un importante ahorro en los costos de producción, volviendo más competitiva la fruta nacional en los mercados. También, es importante mencionar el aporte de carbono orgánico al suelo que realizan las coberturas vegetales orgánico (Montenegro y Segura 2021), lo cual además de mitigar se constituye en una opción para el incremento de la microfauna y mejorar la salud del suelo (Nielsen y Winding, 2002), la persistencia y la sostenibilidad del cultivo, dada la mejora en las características del suelo que lo hacen aún más apropiado para la producción de las musáceas.

La incorporación de los residuos de las plantas como también de la cosecha, p.e. pinzotes, en las áreas de cultivo contribuyen no solo a incrementar la producción (Álvarez 2013), sino también a mantener la fertilidad del suelo. Además, son una fuente importante de carbono orgánico (Montenegro y Segura 2021) que estimula la microflora del suelo mejorando la salud de este e incrementando la cantidad de carbono del suelo.

La utilización de drones para la aplicación de productos fitosanitarios puede ser una herramienta tanto para reducir la emisión por la menor utilización de aviones para las aspersiones (Arboleda y Massuh, 2014), como también para extender las áreas de cultivo, lo cual tendría un impacto favorable en la producción y la sostenibilidad de esta actividad productiva.

La evolución de la emisión GEI en ambos cultivos mostró que luego del incremento observado en la década de los 90's ligado a la expansión de estas actividades agrícolas, a partir del 2000 las emisiones tienden a estabilizarse.

Se evidenció que el precio que los productores reciben por su producción influye en la eficiencia productiva ( $t$  producto  $ha^{-1}$ ), de emisión ( $kg$   $CO_2eq$   $t^{-1}$  producida), y económica ( $t$   $CO_2eq$  millón $^{-1}$  de ingreso).

La eficiencia de la emisión con respecto a la producción se ha visto mejorada en el tiempo con tendencia a mantener los valores en los últimos años, sin embargo, la tendencia de la eficiencia de emisión económica depende de la utilización de colones corrientes o constantes.

Deben realizarse esfuerzos enfocados a la fertilización nitrogenada para mitigar los GEI que se derivan de su aplicación, ya que constituyen la principal fuente de emisión.

Existe potencial para reducir las emisiones GEI en ambos cultivos mediante la implementación de diferentes opciones de mitigación, con lo cual se obtendrían mejores valores en los diferentes parámetros analizados, tanto biológicos como económicos y ambientales ligados al cambio climático.

## LITERATURA CITADA

Alcaraz, J; Jiménez, J. 2018. La aplicación de la agricultura de precisión en el proceso de fertilización: un caso de estudio para el sector bananero del Urabá-Antioqueño. Tesis Mag. Sc. en Economía Aplicada. Medellín, Colombia. Universidad EAFIT. 88 p.

Álvarez, W. 2013. Efecto del raquis flora de banano procesado sobre el vigor de la planta y la incidencia del desorden fisiológico conocido como "Balastro" en banano (*Musa* sp. AAA Gran Nain) en Río Frío, Sarapiquí, Heredia. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 62 p.

Arboleda G; Massuh, F. 2014. Análisis de factibilidad del uso de drones en las plantaciones bananeras de la provincia de El Oro. Tesis Lic. Guayaquil, Ecuador, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. 97 p.

Bertsch, F. 2009. Absorción de nutrientes por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del suelo. San José, Costa Rica. 307 p.

CORBANA (Corporación Bananera Nacional). 2021. Estadísticas. Beneficios del sector bananero (en línea) San José, Costa Rica. Consultado 02 jul. 2021. Disponible en <https://www.corbana.co.cr>

CORBANA (Corporación Bananera Nacional). 2018. Estadísticas de exportación bananera 2017. San José, Costa Rica. 95 p.

CORBANA (Corporación Bananera Nacional). 2017. Estadísticas de exportación bananera 2016. San José, Costa Rica. 86 p.

CORBANA (Corporación Bananera Nacional). 2013. Estadísticas de exportación bananera 2012. San José, Costa Rica. 80 p.

CORBANA (Corporación Bananera Nacional). 2009. Estadísticas de exportación bananera 2008. San José, Costa Rica. 77 p.

CORBANA (Corporación Bananera Nacional). 2004. Estadísticas de exportación bananera 2003. San José, Costa Rica. 58 p.

CORBANA (Corporación Bananera Nacional). 1998. Estadísticas de exportación bananera 1997. San José, Costa Rica. 52 p.

CORBANA (Corporación Bananera Nacional). 1995. Estadísticas de exportación bananera 1994. San José, Costa Rica. 48 p.

SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2017. Boletín estadístico agropecuario No. 27. MAG, San José, Costa Rica. 218 p.

SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2014. Boletín estadístico agropecuario No. 25. MAG, San José, Costa Rica. 188 p.



- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2011. Boletín estadístico agropecuario No. 21. MAG, San José, Costa Rica. 182 p.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2007. Boletín estadístico agropecuario No. 17. MAG, San José, Costa Rica. 74 p.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2004. Boletín estadístico agropecuario No. 15. MAG, San José, Costa Rica. 58 p.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2002. Boletín estadístico agropecuario No. 13. MAG, San José, Costa Rica. 34 p.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2000. Boletín estadístico agropecuario No. 11. MAG, San José, Costa Rica. 30 p.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 1998. Boletín estadístico agropecuario No. 9. MAG, San José, Costa Rica. 28 p.
- Martínez, L; Caballero-Mellado, J; Orozco, J; Martínez-Romero, E. 2003. Diazotrophic bacteria associated with banana (*Musa* spp.). *Plant and Soil* 257:35-47.
- Mia, A; Hossain, M; Shamsuddin, Z; Islam, T. 2013. Plant-associated bacteria in nitrogen nutrition in crops, with special reference to rice and banana. Gazipur, Bangladesh. 31 p.
- MINAE. 2021. Inventario Nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono 1990-2017. Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. 380 p.
- MINAE. 2019. Inventario Nacional de Emisiones por fuentes y absorción por sumideros de Gases con Efecto Invernadero en Costa Rica 2015. Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. 76 p.
- Montenegro, J; Segura, R. 2021. Fijación de carbono orgánico en un suelo cultivado con banano con cobertura vegetal en Costa Rica. *Revista CORBANA*, en prensa.
- Montenegro, J. 2016. Comportamiento histórico de la emisión de gases con efecto invernadero del sector agropecuario de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 15:53-63.
- Montenegro, J; Herrera, J. 2013. Determinación de la emisión de óxido nitroso en pasto kikuyo (*Kikuyuochloa clandestina*) bajo pastoreo: Efecto de diferentes fuentes y niveles de nitrógeno. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 12:9-21.
- Montenegro, J; Laprade, S; Ortega, R; Sandoval, J. 2012. Desarrollo de opciones de mitigación de óxido nitroso en el cultivo del banano. Evaluación de diferentes fuentes nitrogenadas. *In IV Congreso Internacional sobre el banano* (4, 2012, San José, Costa Rica). Memoria. San José, Costa Rica. 15 p.
- Montenegro, J; Abarca S. 2001. Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del cambio climático. MAG-IMN, San José, Costa Rica. 135 p.
- Nielsen, M; Winding, A. 2002. Microorganisms as indicators of soil health. National Environmental Research Institute, Aarhus, Denmark. Report No. 388. 85 p.
- Páez, J. 2017. Estudio comparativo sobre la huella de carbono en cultivos de banano en los países de Colombia, República Dominicana, Ecuador y Guatemala. Tesis Lic. Bogotá, Colombia, Universidad Militar Nueva Granada. 31 p.
- Vallejos Vásquez, S; Esquivel Valverde, L; Hidalgo Madrigal, M. 2012. Histórico de desastres en Costa Rica (febrero 2013 - setiembre 2012). CNE, San José, Costa Rica. 48 p.
- Vargas, A; Watler, W; Morales, M; Vignola, R. 2017. Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de banano en Costa Rica. Ficha técnica cultivo de banano. CATIE-MINAE-DCC-Adaptation Fund-Fundecooperación. San José, Costa Rica. 56 p.
- Veldkamp, E; Keller, M. 1997. Nitrogen oxide emissions from a banana plantation in the humid tropics. *Journal of Geophysical Research* 102(15):889-898.