

## Estimación de emisiones biogénicas de componentes orgánicos volátiles y monóxido de carbono en plantaciones cítricas de Cuba



<https://eqrcode.co/a/RiKS9L>

### Estimation of biogenic emissions of volatile organic compounds and carbon monoxide in citrus plantations of Cuba

 Ricardo Manso<sup>1\*</sup>, Yosdany González<sup>1</sup>, Javier Bolufé<sup>1</sup>,  Rosemary López<sup>1</sup>,  Israel Borrajero<sup>2</sup>, Juan C. Peláez<sup>2</sup>, Miguel Aranguren<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Contaminación y Química Atmosférica. Instituto de Meteorología. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.

<sup>2</sup>Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.

<sup>3</sup>Unidad Científica Tecnológica de Base Jagüey Grande. Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical (IIFT).

**RESUMEN:** Las emisiones de gases y partículas producidas por la naturaleza han venido conformando la actual atmósfera, las cuales interactúan con las emisiones antrópicas afectando la calidad del aire y el clima. El objetivo de este estudio fue cuantificar las emisiones biogénicas en plantaciones de cítricos biogénicas que pudieran interactuar con otros componentes y jugar un importante papel en la atmósfera. Se pudo contar con información necesaria para aplicar la modelación para estimar las emisiones biogénicas en las plantaciones de cítricos de Jagüey Grande y Ceiba. Se aplicó el modelo GLoBEIS con datos del índice de área foliar y de la radiación fotosintéticamente activa entre otras variables ambientales, obtenidas de Unidad Científica Tecnológica de Base Jagüey Grande y del Instituto de Meteorología fundamentalmente. Las emisiones biogénicas correspondieron casi en su totalidad a las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos (99.1%). Las emisiones de monoterpenos totales fueron de 40.45% y de otros Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos 59.53%. El índice de área foliar tiene un peso fundamental sobre las emisiones. Aproximadamente el 66.25% de las emisiones biogénicas corresponden a Jagüey Grande debido a su mayor área de cultivo. Las mayores emisiones de monoterpenos totales y otros compuestos orgánicos volátiles correspondieron a los períodos de mayor temperatura en los meses de julio y agosto y el horario de las 13 horas debido a la influencia directa de esta variable. En el caso del monóxido de nitrógeno las emisiones muestran un comportamiento más homogéneo en el transcurso del año con un incremento a partir de abril con máximos valores en Julio y agosto correspondiendo con las mayores temperaturas del aire y el suelo. La metodología descrita puede ser aplicada para otros cultivos y plantaciones.

**Palabras Claves:** Emisiones Biogénicas, Índice de Área Foliar, Radiación PAR.

**ABSTRACT:** The emissions of gases and particles produced by nature have been shaping the current atmosphere, which interact with anthropic emissions, affecting air quality and the climate. The objective of this study was to quantify biogenic emissions in biogenic citrus plantations that could interact with other components and play an important role in the atmosphere. It was possible to have the necessary information to apply the modeling to estimate biogenic emissions in the citrus plantations of Jagüey Grande and Ceiba. The GLoBEIS model was applied with data on the leaf area index and photosynthetically active radiation among other environmental variables, obtained mainly from the Jagüey Grande Base Scientific Technological Unit and from the Institute of Meteorology. Biogenic emissions corresponded almost entirely to emissions of Biogenic Volatile Organic Compounds (99.1%). Emissions of total monoterpenes were 40.45% and other Biogenic Volatile Organic Compounds were 59.53%. The leaf area index has a fundamental weight on the emissions. Approximately 66.25% of biogenic emissions correspond to Jagüey Grande due to its larger cultivation area. The highest emissions of total monoterpenes and other volatile organic compounds corresponded to the periods of higher temperature in the months of July and August and the 1:00 p.m. hours due to the direct influence of this variable. In the case of nitrogen monoxide, emissions show a more homogeneous behavior during the course of the year with an increase from April with maximum values in July and August corresponding to the highest air and soil temperatures. The described methodology can be applied to other crops and plantations.

**Key Words:** Biogenic Emissions, Leaf Area Indices, PAR Radiation.

\*Autor para correspondencia: Ricardo Manso. E-mail: [ricardo.mansojimenez@yahoo.com](mailto:ricardo.mansojimenez@yahoo.com)

Recibido: 05/05/2021

Aceptado: 04/08/2021

## INTRODUCCIÓN

Las fuentes naturales biogénicas forman parte de los ciclos naturales. Se incluyen las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos (COVBs), así como las emisiones de óxidos de nitrógeno de microorganismos provenientes del suelo. Es importante señalar que la vegetación y el suelo no son fuentes emisoras de contaminantes, sino que sus emisiones forman parte de los ciclos naturales del planeta.

Los COVBs son de relevancia ya que participan en el ciclo global del carbono, en el equilibrio local y global de la temperatura, en los ciclos bioquímicos del planeta (Guenther *et al.*, 1995) y como un factor químico natural, en el desarrollo de incendios forestales (Ormeño *et al.*, 2009)

Los COVBs son conocidos por tener efectos sobre la calidad del aire (Lee *et al.*, 2010) y el clima (Jiang *et al.*, 2010) No sólo en bosques, sino también en áreas urbanas donde existan áreas verdes (Weber *et al.*, 2014, Masuda. *et al.*, 2017) e intensificar la contaminación atmosférica durante las olas de calor (Churkina *et al.*, 2018) La composición de árboles en una zona influyen marcadamente en la concentración de COVBs específicos (Antonelli *et al.*, 2020)

En América Latina, se han realizado algunos estudios e inventarios que incluyen emisiones de origen biogénico como los casos de México, Chile, Ecuador y Colombia (Bolaños, 2015). No tenemos referencia de trabajos sobre emisiones de COVBs en Cuba.

La caracterización de las emisiones biogénicas, resulta compleja debido a la diversidad de especies vegetales, así como a la composición y cantidad de COVBs producidos (Velasco, 2003). Los principales COVBs generados por la vegetación son el isopreno y los monoterpenos (Peñuelas & Llusía, 2003). En el caso de los cítricos su producción y emisión depende directamente del metabolismo fotosintético de las reservas de las hojas. Las especies de cítricos no son una fuente considerable de ciertos COVBs como el isopreno (Fares *et al.* 2011) en comparación con otros COVBs como los monoterpenos, lo cual corrobora lo investigado con anterioridad (Hampel *et al.*, 2005).

Una alternativa a realizar mediciones *in situ* es la aplicación de modelos matemáticos. Se requiere conocimiento de las condiciones locales (uso del suelo, distribución de plantas y meteorología), que influyen en el comportamiento de la emisión de la especie vegetal (Camargo *et al.*, 2010). Algunos factores incluyen en las emisiones de COVBs, el índice de área foliar (LAI, por sus siglas en inglés), la temperatura y la radiación solar.

El índice de área foliar (LAI, por sus siglas en inglés), es un número adimensional que representa la relación del área proyectada por las hojas respecto del área del suelo

Este índice describe propiedades fundamentales de la interacción de la planta con la atmósfera. Su valor

depende de la especie, fenología y ambiente, pero en general, tanto para árboles de hoja ancha, como coníferas va de 1 a 10. El LAI en cítricos, es un buen indicador del crecimiento vegetativo y de la actividad fotosintética según la Red Interamericana de Cítricos (RIAC, 2006).

En las condiciones del clima tropical de Cuba, estacionalmente húmedo, los cítricos, en especial el naranjo Valencia como especie evaluada presentan valores medios cercanos a 6,4, menores a los encontrados cuando se comparan con plantaciones establecidas en climas subtropicales de la región. En el transcurso del período vegetativo, un árbol de naranjo 'Valencia' en las condiciones cubanas absorbe como promedio 7,16 kw de radiación solar y una plantación de una hectárea, durante igual período absorbe de un 25 - 30% de la radiación global incidente (Pérez *et al.*, 2003).

La Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR, por sus siglas en inglés) es la cantidad de radiación integrada del rango de longitudes de onda que es capaz de producir actividad fotosintética en las plantas y otros organismos fotosintéticos. Los valores PAR son importantes como parámetros de entrada de energía en diversos procesos biológicos (Tingey *et al.*, 1980). Puede ser definida como la fracción del espectro solar comprendida entre 0,40 y 0,70  $\mu\text{m}$ , si bien los autores rusos la definen por el dominio 0,38-0,71  $\mu\text{m}$  (Guyot, 1992).

De forma general los valores de la Radiación PAR siguen una distribución espacial bastante homogénea debido a que los cambios del régimen de radiación solar incidente son pequeños en Cuba, y cuando existen, se deben a peculiaridades locales del punto de observación, al grado de exposición de las pendientes o al efecto con otros elementos meteorológicos como la nubosidad (Lecha *et al.*, 1994).

La elaboración y aplicación de modelos matemáticos son importantes para conocer la distribución espacial y temporal de estas emisiones, así como las simulaciones de escenarios que permitan prever el comportamiento de los COVBs para condiciones particulares (Camargo *et al.*, 2010).

Uno de los modelos más avanzados es GloBEIS (Global Biosphere Emission and Interaction System) desarrollado por la EPA (2007) y el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR, por sus siglas en inglés). Este modelo calcula las emisiones biogénicas de COVBs y del suelo para cualquier escala y dominio (Guenther, 1995). Según el método a utilizar en la estimación de las emisiones biogénicas está en estrecha correspondencia con la escala temporal y espacial a evaluar (Guenther, 2017).

En experimentos de emisiones de COVBs realizadas, en varias especies de cítricos en California (Fares *et al.*, 2011) encontraron que las emisiones que predominaron los compuestos oxidados como la acetona en mandarina y limones, mientras que para las naran-

jas las mayores emisiones fueron de monoterpenos. Esto comprueba los estudios realizados anteriormente (Hampel *et al.*, 2005), se plantea que en el caso de los cítricos, su producción y emisión, depende directamente del metabolismo fotosintético de las reservas de las hojas (en oposición al almacenamiento provisional en los espacios intercelulares), esto sugiere que las especies de cítricos, no son una fuente considerable de ciertos COVBs como el isopreno en comparación con otros COVBs como los monoterpenos.

Este estudio, es el primero sobre las emisiones biogénicas en Cuba, en particular, en áreas cítricas de la región occidental de Cuba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvo la información requerida de áreas de plantaciones cítricas, con los parámetros de entrada principales como LAI, radiación PAR, datos meteorológicos y de uso del suelo para aplicar la modelación de emisiones biogénicas

Se seleccionaron a las plantaciones de cítricos de Jagüey Grande, en el municipio Jagüey de la provincia Matanzas y la de Ceiba en el municipio de Caimito, de la provincia Artemisa por su extensión y calidad de su explotación agropecuaria.

El área cítrica de Ceiba, tiene suelos con una cobertura de suelos Ferralíticos principalmente, (Bayón, 2004). En Jagüey Grande, según Aranguren *et al.* (2015), los suelos son del tipo Ferralítico rojo típico.

Los datos meteorológicos (utilizados, temperatura, nubosidad (cobertura nubosa), humedad, y velocidad del viento) para las corridas del modelo fueron del año 2015 de la estación de Jagüey Grande y Güira de Melena para Ceiba (tomadas del Centro de Clima del Instituto de Meteorología).

El cálculo del índice de área foliar (LAI, por sus siglas en inglés) se realizó según la metodología clásica (Pozo *et al.*, 1994). Estudios realizados, en plantas de lima Persa en Jagüey Grande (Aranguren *et al.*, 2004), (Pérez *et al.*, 2000) que bajo el efecto de diferentes agentes infecciosos llamados viroides, de menor complejidad que los virus, los cuales afectan el área foliar de las plantas en comparación con plantas sanas como testigo.

Las diferentes especies de cítricos no se encuentran desagregadas espacialmente, por lo que no se pueden utilizar los valores de LAI anteriormente determinados para cada una de las especies. Debido a esta limitante, en este trabajo se utilizaron los valores de LAI igual a 6.4 referidos a la naranja Valencia debido a que constituyen el 75 % de las plantaciones de naranja y aproximadamente el 30 % del área sembrada para cítricos en Jagüey Grande.

La radiación PAR se determina a partir de la radiación solar para todo el espectro, sobre la base de relaciones encontradas en trabajos previos realizados en Centro de Física de la Atmósfera del Instituto de

Meteorología, precisamente entre la radiación Global de todo el espectro y la Global PAR en función de la altura del sol para las condiciones de Cuba.

En este trabajo, la estimación de la irradiancia solar utiliza el método Heliosat II (Rigollier *et al.*, 2004) basándose en el archivo de imágenes disponibles y la validación del método con mejores mediciones existentes en tierra de estudios recientes (Borrajero *et al.*, 2016). Se aplicó, además el método de GloBEIS, que relaciona nubosidad con radiación PAR para toda la región y cualquier día.

El modelo GloBEIS (Global Biosphere Emission and Interaction System, por siglas en inglés) fue usado en este estudio debido usa factores específicos para varios tipos de vegetación, requiere un mínimo de datos de entrada. Los factores de emisión son los mismos que el MEGAN (Model of Emission of Gas and Aerosols from Nature) pero expresados a nivel de las hojas de las plantas y no al nivel del dosel. (EPA, 2007; Guenther, 2012.).

El modelo requiere como mínimo de 3 archivos de entrada definidos por el usuario, meteorología con variables meteorológicas horarias (temperatura y nubosidad o radiación solar PAR), uso de suelo, definición y ubicación geográfica del dominio o zona de estudio. Los valores obtenidos para la PAR por el procesamiento de las imágenes visibles GOES 13 tienen una resolución espacial de 1 Km x pixel.

Los factores de emisión se encuentran definidos dentro del modelo, pero existe la posibilidad de introducir nuevos factores que se ajusten a la vegetación presente en el dominio definido.

Las corridas del modelo GloBEIS se realizaron puntualmente para las dos zonas cítricas evaluadas, considerando los valores del índice de área foliar por defecto para las plantaciones cítricas que contiene el modelo y los valores obtenidos por los trabajos desarrollados en Cuba.

Este modelo calcula las emisiones biogénicas de isopreno, monoterpenos totales, otros compuestos orgánicos volátiles (OCOV), así como las emisiones de los suelos de monóxido de nitrógeno (NO) para cualquier escala y dominio, y tiene la habilidad de modelar periodos prolongados de sequía y altas temperaturas. Este modelo está basado esencialmente en los algoritmos desarrollados (Guenther, 2012).

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para Cuba, los cítricos, en especial el naranjo Valencia como especie evaluada presentan valores medios de LAI cercanos a 6,4 (Pérez *et al.*, 2003). Algunas especies de cítricos mostraron mayores variaciones anuales del LAI y de la producción en Ceiba del Agua (Cuba) que en Florida (Estados Unidos), donde el LAI fue más estable y por consiguiente la producción (Aranguren *et al.*, 2015). Estos resultados corres-

**Tabla 1.** Configuración de las corridas del Modelo GloBEIS.

Información	Ceiba	Jagüey Grande	Fuente
Dominio (Área Km <sup>2</sup> )	62.58	122.34	Uso de la Tierra (2015) <sup>1</sup>
Tipo de uso	Cítricos	Cítricos	Uso de la Tierra (2015) <sup>1</sup>
Índice de Área Foliar	6.4 (5 valor por defecto)	6.4 (5 valor por defecto)	IIFT <sup>2</sup> y GloBEIS
Tiempo	Año 2015	Año 2015	
Resolución temporal	1 hora	1 hora	
Información Meteorológica (N, Hr, ff)	Estación Güira de Melena	Estación de Jagüey Grande	CENCLIM <sup>3</sup>
Emisiones por especies [kg]	ISO (isopreno), TMT (monoterpenos totales),	ISO (isopreno), TMT (monoterpenos totales), OVC	GloBEIS
	OVC (otros compuestos volátiles) y NO (monóxido de nitrógeno)	(otros compuestos volátiles) y NO (monóxido de nitrógeno)	

Fuentes: <sup>1</sup>Ministerio de la Agricultura. <sup>2</sup>Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. <sup>3</sup> Centro del Clima. Instituto de Meteorología

ponden a condiciones locales propias de la mayor área de estudio (Jagüey Grande). Este valor es ligeramente superior al calculado por defecto por la corrida del modelo GloBEIS.

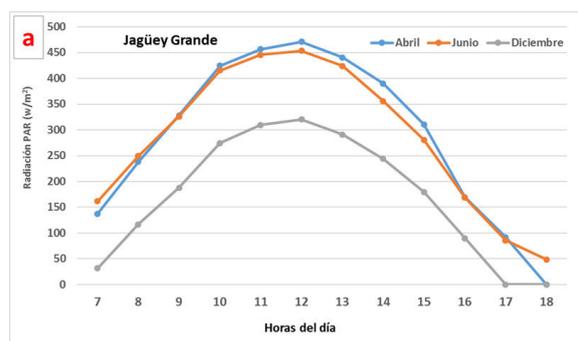
Resultados más satisfactorios en la producción de cítricos y mayor homogeneidad en los valores de LAI se pudieran obtener si se aplicaran trabajos científicos (Solano *et al.*, 2004) que muestran un método objetivo que reduce los riesgos climáticos y permite evaluar el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El procesamiento de las imágenes visibles de los satélites GOES para determinar la radiación solar permite extender la valoración de la radiación PAR para todo el territorio de Cuba, a partir de regularidades determinadas previamente entre la PAR y la radiación solar con mediciones en tierra.

La **figura 1** muestra el comportamiento de la radiación PAR para Jagüey Grande durante los meses de abril, junio y diciembre.

Los valores máximos obtenidos por la corrida del modelo Globeis a las 12 horas local en junio alcanzan valores entre 450 y 470 W/m<sup>2</sup>, mientras que en diciembre apenas alcanzan entre 300-325 W/m<sup>2</sup>. Durante el mes de junio el sol alcanza una mayor altura cenital y los rayos solares inciden de forma perpendicular, aunque no ocurren los máximos de radiación.

Es necesario señalar que se obtuvieron valores determinados para algunos días bajo las condiciones de cielo despejado fueron obtenidos valores mucho más altos haciendo uso del Modelo de Transferencia Radiativa TUV que permite la determinación de la PAR entre otras facilidades encontrándose una diferencia



**Figura 1.** Marcha diaria de la Radiación PAR para los meses de abril, junio y diciembre en la estación meteorológica de Jagüey Grande el año 2015.

del 5% en el error medio cuadrático para la PAR determinada por las imágenes de satélites y el TUV como referencia. Las diferencias son notables dado que el modelo proporciona valores mucho más bajos quizás porque el modelo incorporó los datos de nubosidad que disminuyen los valores de radiación, además de que el modelo se ha aplicado fundamentalmente en latitudes medias.

En las **tablas 2 y 3** se puede observar el resultado de la ejecución del modelo con los dos LAI (valor por defecto del GLOBEIS y valor determinado). Estos resultados demuestran la influencia tan marcada del LAI sobre las emisiones de COVBs

Obsérvese que las emisiones de óxido nitrroso no tienen obviamente relación con el valor del LAI, solamente con la superficie que ocupen las plantaciones. En la **tabla 3** se mostrara el valor obtenido con el valor que aporta el modelo por defecto que es de 5.

**Tabla 2.** Emisiones anuales en toneladas (ton) de emisiones biogénicas en las áreas cítricas de Jagüey Grande y Ceiba para el año 2015 con el LAI obtenido *in situ*.

Plantaciones Cítricos	LAI =6.4					
	Compuestos					
	NO	ISOP	TMT	OVC	COVBs	EBT
Ceiba	8.3	0.2	359.0	528.4	887.7	895.9
Jagüey Grande	16.2	0.4	704.6	1037.0	1742.0	1758.2
Total	24.5	0.6	1063.7	1565.5	2629.7	2654.1

NO: monóxido de nitrógeno, ISO: isopreno, TMT: monoterpenos totales, OCV: otros compuestos orgánicos volátiles, COVBs compuestos orgánicos volátiles biogénicos, EBT: emisiones biogénicas totales

**Tabla 3.** Emisiones anuales en toneladas (ton) de emisiones biogénicas en las áreas cítrícolas de Jagüey Grande y Ceiba para el año 2015 con diferentes LAI como referencias

Plantaciones Cítricos	LAI =5					
	Compuestos					
	NO	ISOP	TMT	OVC	COVBs	EBT
Ceiba	8.3	0.1	294.6	433.6	728.3	736.5
Jagüey Grande	16.2	0.4	704.6	1037.0	1742.0	1758.2
Total	24.5	0.4	872.7	1284.4	2157.5	2182.0

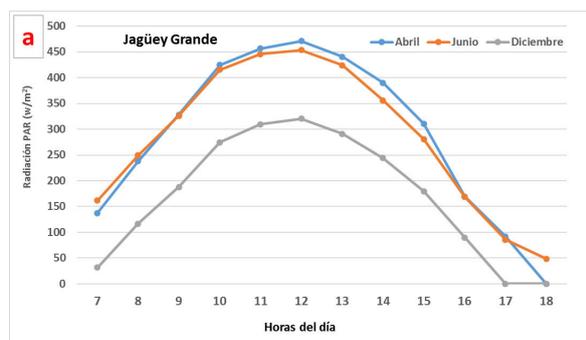
NO: monóxido de nitrógeno, ISO: isopreno, TMT: monoterpenos totales, OCV: otros compuestos orgánicos volátiles, COVBs compuestos orgánicos volátiles biogénicos, EBT: emisiones biogénicas totales

Los valores obtenidos de las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles difieren notablemente, como era de esperar pues dependen fundamentalmente del tamaño de las hojas, además de otras funciones fisiológicas.

Las emisiones biogénicas totales (EBT) de las zonas cítrícolas de estudio, para el año 2015, tomando el LAI=6.4 de referencia estuvieron en el orden de las 2654.1 toneladas (ton) anuales, correspondiendo casi en su totalidad a las emisiones de COVBs (99.1 %). Este valor de emisiones anual corresponde a alrededor 7.27 ton por día como promedio, sin considerar el efecto de plagas o factores ambientales.

Respecto a las áreas de estudio, aproximadamente el 66.25 % de las EBT corresponden a Jagüey Grande debido al área mucho mayor dedicada a los cítricos respecto a Ceiba a la cual corresponden el 33.75% restante. Esta proporción se mantiene al analizar los diferentes COVBs y el NO. Las mayores emisiones de los COVBs pertenecen a Otros Compuestos Volátiles (OVC) con un 59.53 %, debido al número considerable de especies comprendidas; seguidas de las monoterpenos (TMT) con un 40.45 %, mientras que las de los isoprenos (ISOP) son prácticamente nulas, con un 0.02 % del total de emisiones de los COVBs, en correspondencia a estudios realizados en diversas especies cítrícolas con anterioridad (Fares *et al.*, 2011).

Este comportamiento de las emisiones de los TMT evidencia la influencia que tiene la temperatura en ambos procesos de emisión de estos COVBs, puesto que a medida que aumenta la temperatura de las hojas de las plantas aumentan las emisiones de estas especies como fue explicado con anterioridad en el análisis de las emisiones mensuales.



**Figura 2.** Emisiones horarias promedio (kg) de TMT en Ceiba y Jagüey Grande para el año 2015

Las emisiones de TMT ocurren también de noche a diferencia del isopreno que no se acumula en las hojas (Camargo *et al.*, 2010) aunque en una tasa menor a la que se presenta durante el día

En las emisiones generadas por los suelos como causa de procesos de nitrificación y desnitrificación producidas por bacterias, se observa que al igual que ocurre con las emisiones de COVBs, las emisiones de NO se ven influenciadas por la temperatura (Williams *et al.* 1992), en este caso del suelo, alcanzando su máxima emisión entre las 12 y las 14 horas debido a la relación directa entre acción bacteriológica y temperatura. (Guenther, 2017).

En el caso del NO, las emisiones muestran un comportamiento más homogéneo a lo largo del año, con un aumento sostenido a partir de abril alcanzando los máximos valores en julio y agosto, coincidiendo con los meses de mayor temperatura tanto del aire como del suelo

Los suelos en ambas plantaciones, no son iguales, pero para el modelo GloBEIS responden como semejantes. En conjunto con poca diferencia significativa de la temperatura del aire (no se dispone de datos de temperatura del suelo), condiciona que la extensión del área sembrada sea la variable determinante en las emisiones.

Este comportamiento de las emisiones de los TMT evidencia la influencia que tiene la temperatura en ambos procesos de emisión de estos COVBs, puesto que a medida que aumenta la temperatura de las hojas de las plantas aumentan las emisiones de estas especies como fue explicado con anterioridad en el análisis de las emisiones mensuales.

Las mayores emisiones se alcanzan en el horario de las 17 horas debido a que la relación de la radiación solar y por tanto de la PAR, no es directa con las emisiones (Guenther *et al.*, 1991) y que también dependen del régimen de temperatura al que las hojas han estado expuestas en horas previas (Velasco & Bernabé, 2004)

Estos análisis nos muestran como puede variar la composición química de la atmósfera y que generalmente no son considerados. Este estudio fue en una zona rural, pero en caso de zonas urbanas e industriales nos llevaría a un estudio más complejo con muchos procesos de interacción y retroalimentación si quisiéramos abarcar además las emisiones antrópicas.

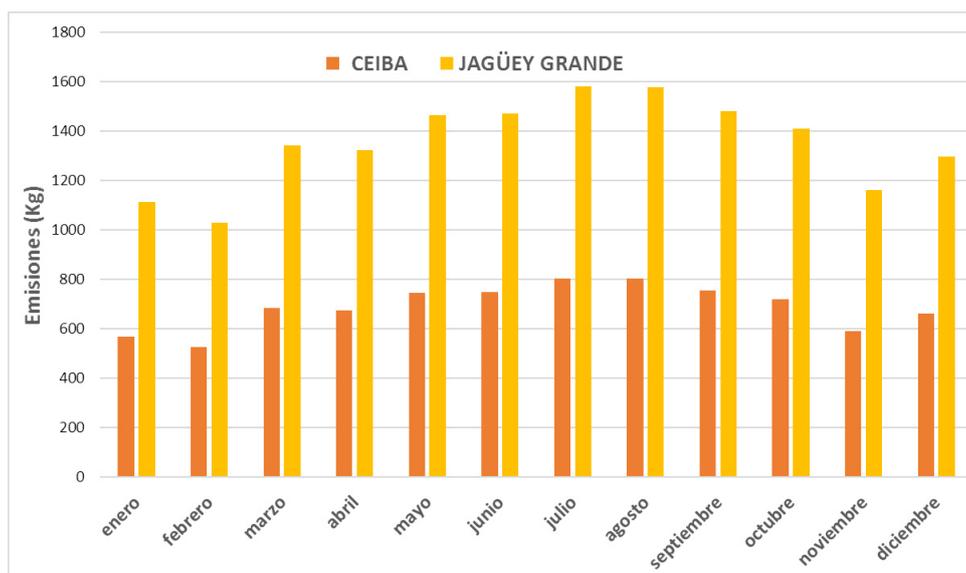


Figura 3. Emisiones mensuales de NO en Ceiba y Jagüey Grande.

## CONCLUSIONES

La estimación de emisiones biogénicas varía aproximadamente en 21.9% según se aplique el valor del índice de área foliar para los cítricos utilizado como parámetro de entrada del modelo GLOBEIS o el calculado *in situ* en Jagüey Grande.

Los métodos utilizados para la determinación de la radiación fotosintéticamente activa, a partir de la radiación solar incidente y la nubosidad, permiten extender el cálculo de esta variable para todo el territorio de Cuba.

Las emisiones biogénicas para el año 2015 para las plantaciones cítricas de Jagüey Grande y Ceiba, estuvieron en el orden de las 2654.1 toneladas anuales, correspondiendo casi en su totalidad a las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos (99.1%). Aproximadamente el 66 % del total de emisiones corresponde a Jagüey Grande debido a su mayor superficie cultivada.

Las emisiones de monoterpenos totales (40.45%) y de otros Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos (59.53%) fueron muy superiores a las emisiones de isoprenos, prácticamente nulas (0.02%).

En el caso del monóxido de nitrógeno las emisiones muestran un comportamiento más homogéneo en el transcurso del año con un incremento a partir de abril con máximos valores en Julio y agosto correspondiendo con las mayores temperaturas del aire y el suelo. Este estudio, es el primero que calcula las emisiones biogénicas en Cuba y la metodología descrita puede ser aplicada para otros cultivos y plantaciones.

## RECOMENDACIONES

Realizar mediciones *in situ* de variables meteorológicas y factores fisiológicos lo nos acercamos más a la realidad

## REFERENCIAS

- Aranguren, M., Pérez, R. & Rodríguez, D. 2004 Viroid induced changes in the yield components of Persian limes trees (*Citrus latifolia* Tan). Proc. XXVI IHC-Citrus, Subtropical and tropical Fruit Crops. Eds. L.G. Albrigo and V Galan Saucó. Acta Hort. 632. ISHS 2004. Publication supported by Can.Int.Agency (CIDA)
- Aranguren, M. Pérez J. & Pérez Y. 2015 ``Determinación de los índices bioclimáticos y tipo de clima para la vid en las condiciones de Jagüey Grande, Matanzas, Cuba``. Centro agrícola, 42(4). 75-83, octubre -diciembre, 2015 ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001. CF: cag104152054. CE: 68 14 CF: 104152054 Disponible en: <http://cagricola.uclv.edu.cu>.
- Antonelli M., Donelli D., Barbieri G., Valussi M., Maggini V. & F, Firenzuoli 2020. Forest Volatile Organic Compounds and Their Effects on Human Health: A State-of-the-Art Review. International Journal of Environmental Research and Public Health Review. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 6506; doi: [10.3390/ijerph17186506](https://doi.org/10.3390/ijerph17186506) [www.mdpi.com/journal/ijerph](http://www.mdpi.com/journal/ijerph)
- Bayón P. 2004 Atlas ambiental territorial del municipio Caimito, La Habana, Cuba: apuntes del diagnóstico geoecológico de sus paisajes
- Bolaño T.R., Camargo Y. & Vélez-Pereira, A.M. 2015. ``Emisiones biogénicas de monoterpenos en el Parque Nacional Natural Tayrona, Santa Marta (Colombia)``. *Revista Luna Azul*, 40, 102-116. Recuperado de: <http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&task=view&id=1002>
- Borrajero I. & Pelaez J., 2016 Informes de resultados: Uso del WRF-Solar y el post-procesamiento MOS para el pronóstico de la radiación solar con fines energéticos en Cuba. Estimación de la radiación

- solar a partir de imágenes de satélite. Proyecto: Pronóstico de la radiación solar y potencia a generar en las plantas fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica nacional. Centro de Física de la Atmósfera. INSMET.
- Camargo Y., Bolaño T. & Álvarez A. 2010. "Emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen biogénico y su contribución a la dinámica atmosférica" *Rev. Intropica* ISSN 1794-161X 5 77 - 86 Santa Marta, Colombia, mayo de 2010
- EPA, 2007. Emissions Modeling Clearinghouse, Biogenic emissions sources. U.S. Environmental Protection Agency. (Disponible en <http://www.epa.gov/ttnchie1/emch/biogenic/> - visitado 2010-03-15).
- Fares Silvano, Drew R. Gentner c, Jeong-Hoo Park a, Elena Ormeno, John Karlik & Allen H. Goldstein . 2011 "Biogenic emissions from Citrus species in California" *Atmospheric Environment* 45 ,2011, 4557-4568
- Guenther, A.B., R.K. Monson & R. FALL. 1991. "Isoprene and monoterpene emission rate variability: Observations with eucalyptus and emission rate algorithm development". *Journal of Geophysical Research* 96: 10799-10808.
- Guenther A., Hewitt N.C., Erickson D., Fall R., Geron C., Graedel T., Harley P.,Klinger L., Lerdau M., Mckey W.A., Pierce T., Scholes B., Steinbrecher R.,Tallamraju R., Taylor J & Zimmerman P. A.1995. "Global Modeld Natural Volatile Organic Compound Emissions". *Journal of Geophysical Research* Vol 100,NO. D5, pp 8873-8892.
- Guenther, A.,C Geron,T Pierce, b Lamp, P Harle &R Fall . 2000. "Natural emissions of non-methane volatile organic compounds, carbon monoxide and oxides of nitrogen from North America". *Atmos. Environ.* 34: 2205-2230.
- Guenther, A., Yarwood G., Wilson & G.,Shepard ,S., 2003. User's guide to the Global biosphere emissions and interactions system (GLOBEIS3)-Version 3.1. Recuperado de <http://www.globeis.com/registration/reg.html>
- Guenther A., Jiang X., Heald CL, Sakulyanontvittaya T, Duhl T, Emmons LK. & Wang X. 2012 The model of emissions of gases and aerosols from nature version 2.1 (megan2.1):: An extended and updated framework for modeling biogenic emissions. *Geosci. Model Dev. Discuss.* 2012;5(2):1503-1560. doi: [10.5194/gmdd-5-1503-2012](https://doi.org/10.5194/gmdd-5-1503-2012). Google Scholar
- Guenther A. 2017. Presentación Curso: Emisiones de compuestos orgánicos volátiles Biogénicos (COVB) y su impacto sobre la calidad del aire y el clima. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales (15 al 17 de agosto 2017).
- Guyot, G., 1992. Cours de Bioclimatologie. Chapitre: I, Le Rayonnement. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France.
- Hampel, D., Mosandl, A. &Wust, M., 2005. Biosynthesis of mono- and sesquiterpenes in carrot roots and leaves (*Daucuscarota* L.): metabolic cross talk of cytosolic mevalonate and plastidial methylerythritol phosphate pathways. *Phytochemistry* 66, 305e311.
- Jiang, X., Yang, Z.-L., Liao, H. & Wiedinmyer, C. 2010. "Sensitivity of biogenic organic aerosols to future climate change at regional scales: An online coupled simulation". *Atmospheric Environment* 44, 4891-4907
- Lecha L., Paz L. &Lapinel B. 1994. El Clima de Cuba. Editorial Academia, 1996 pp. La Habana
- Ormeño: Elena, Blanca Céspedes, Iván A. Sánchez, Ángel Velasco-García, José M. Moreno, Catherine Fernández & Virginie Baldy. 2009. *Forest Ecology and Management* 257 (2009) 471-482.
- Pérez, M, Aranguren & M. Pérez J., 2003 Bioclimatología. Una herramienta para el desarrollo del cultivo de los cítricos en Cuba y en Las Américas. Ciudad de La Habana: IIFT, 2003. Informe Premio Anual Academia de Ciencias de Cuba, 23 p.
- Pérez, J. M.; I. Peña & R. Pérez. 2000. Comparative Viroid Detection of Cuban viroid isolates using indexing and sequential PAGE. *Proc.14th Conf. I.O.C.V., Brazil*, pp. 302303.
- Peñuelas, J. & Llusà, J. 2003. Emisiones biogénicas de COVs y cambio global ¿Se defienden las plantas contra el cambio climático? *Revista Ecosistema*, vol. XII, N° 1. Disponible en: [www.aeet.org/ecosistemas/031/investigacion8.htm](http://www.aeet.org/ecosistemas/031/investigacion8.htm)
- Pozo, L.; Lima H.; Pérez M. C. & Noriega C. 1994. "Metodología para la evaluación de números de flores, frutos y área foliar totales en árboles cítricos". *CitriFrut*, 1994, vol. 12, no 1-2, pp. 12-14.
- RIAC. 2006. Red Interamericana de Cítricos (RIAC) (2006). Bioclimatología. Una herramienta para el desarrollo del cultivo de los cítricos en Cuba y en las Américas. Carta Circular, 2006, no 25, pp. 2-8.
- Rigollier, C., Lefevre, M., & Wald, L. 2004. "The method heliosat-2 for deriving shortwave solar radiation from satellite images". *Solar Energy*, 77:159-169, 2004.
- Solano. O., Menéndez. C., Vázquez. R, &Jorge Menéndez 2004. "Zonificación del periodo de crecimiento de la vegetación en Cuba para un año normal". *Revista Cubana de Meteorología* /vol. 11/No1/2004
- Masuda Tatsuhiko, Junya Hoshi, Sumito Sato, Hiroki Nagashima & Hiroyuki Ueno. 2017. Emission of Biogenic Volatile Organic Compounds from Trees along Streets and in Urban Parks in Tokyo, Japan. *Asian Journal of Atmospheric Environment*. Vol. 11, No. 1, pp. 29-32, March 2017doi: <https://doi.org/10.5572/ajae.2017.11.1.029>.ISSN (Online) 2287-1160, ISSN (Print) 1976-6912.

- Tingey D, Manning M, Grothaus L, & Burns W. 1980. ``Influence of light and temperature on monoterpene emission rates from slash pine``. *Plant Physiology*, 65, 797-801.
- Velasco, E. 2003. ``Estimates for biogenic non-methane hydrocarbons and nitric oxide emissions in the Valley of Mexico``. *Atmospheric Environment*, 37, 625-637
- Velasco E. & Bernabé, R. 2004; Documento Emisiones Biogénicas. Las Emisiones de compuestos orgánicos volátiles no metano de la vegetación y óxido nítrico del suelo. Erik Velasco y Rosa María Bernabé Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. ISBN: 968-817-699-0. México 2004.
- Weber, F., Kowarik, I. & Säuml, I. 2014. A walk on the wild side: Perceptions of roadside vegetation beyond trees. *Urban Forestry Urban Greening* 13, 205-212.
- Williams, E.J., A. Gunther. & F. Fehsenfeld. 1992. ``An inventory of nitric oxide emissions in the United State``. *Journal of Geophysical Research*. 97 (D7):7511-7519. 1992

*Ricardo Manso*. Centro de Contaminación y Química Atmosférica. Instituto de Meteorología. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. E-mail: [ricardo.mansojimenez@yahoo.com](mailto:ricardo.mansojimenez@yahoo.com)

*Yosdany González*. Centro de Contaminación y Química Atmosférica. Instituto de Meteorología. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

*Javier Bolufé*. Centro de Contaminación y Química Atmosférica. Instituto de Meteorología. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

*Rosemary López*. Centro de Contaminación y Química Atmosférica. Instituto de Meteorología. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

*Israel Borrajero*. Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

*Juan C. Peláez*. Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

*Miguel Aranguren*. Unidad Científica Tecnológica de Base Jagüey Grande. Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical (IIFT).

**Conflictos de intereses:** Los autores declaran no tener conflicto de interés

**Contribución de autoría:** Concepción de la idea, aporte de las bibliografías fundamentales, contactos con otros autores y redacción general: **Ricardo Manso**; Aplicación y corrida de modelos y participante de la redacción: **Yosdany González**; Revisión general ,aporte de datos climatológicos y autor de la presentación de defensa del proyecto en el Consejo Científico: **Javier Boulofé**; Revisión general y aportes sobre la bioquímica de los procesos que favorecen las emisiones estudiadas: **Rosemary López**; autores de los estudios sobre la radiación fotosintéticamente activa ( PAR, por sus siglas en inglés) y aporte de datos aplicados en la corrida del modelo : **Israel Borrajero y Juan Carlos Peláez**; autor de los estudios sobre índice de área foliar (LAI, por sus siglas en inglés) y aporte de datos aplicados en la corrida del modelo: **Miguel Aranguren**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)