

C. 2. 12.

VARIABLES AMBIENTALES Y DE ORIGEN HUMANO QUE DETERMINAN EL CONSUMO DE METANO EN LOS SUELOS DE LOS BOSQUES

Fecha de publicación: 11/11/2020

<https://www.argentinaforestal.com/2020/11/11/variables-ambientales-y-de-origen-humano-que-determinan-el-consumo-de-metano-en-los-suelos-de-los-bosques/>



Dr. Gabriel Gatica

Becario Posdoctoral de Agencia en CIFICEN- (CONICET-CICBA-UNCPBA) Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Contacto: mggatica@unsj-cuim.edu.ar



Dr. Javier Gyenge

Investigador Independiente - UEDD Instituto de Innovación para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible, IPADS Balcarce, INTA – CONICET, Oficina Tandil. Laboratorio Internacional Asociado FORESTIA, INTA Argentina- INRAE Francia.

Contacto: javier_gyenge@yahoo.com



Dra. María Elena Fernández

Investigadora Independiente - UEDD Instituto de Innovación para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible, IPADS Balcarce, INTA – CONICET, Oficina Tandil. Laboratorio Internacional Asociado FORESTIA, INTA Argentina- INRAE Francia.

Contacto: ecologia_forestal@yahoo.com.ar



Ma. Paula Juliarena

Investigadora Adjunto y Docente - CIFICEN- (CONICET-CICBA-UNCPBA) Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas- Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (FCEX- UNCPBA).

Contacto: pjuliarena@exa.unicen.edu.ar

Los bosques son ecosistemas reconocidos por su capacidad de proveer múltiples servicios ambientales a la sociedad, entre los que se encuentra la mitigación y/o regulación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Su rol más importante en términos cuantitativos se relaciona con el secuestro de carbono, a partir de fijar dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera por el proceso de fotosíntesis y "secuestrarlo" de manera más o menos prolongada en sus estructuras leñosas y en distintos compuestos orgánicos del suelo. Sin embargo, los suelos de estos ecosistemas participan también en la oxidación, y por lo tanto, en la disminución, de la concentración atmosférica del metano (CH_4). Este gas tiene un poder radiativo 28 veces mayor que el CO_2 y, por lo tanto, un impacto considerable sobre el calentamiento global. El CH_4 es naturalmente emitido desde humedales, aunque el 75% de las emisiones actuales provienen de fuentes humanas (combustión fósil, cultivos de arroz, fermentación entérica de rumiantes (vacas, ovejas, etc.), rellenos sanitarios, entre los más importantes), y por ello, sus emisiones generan preocupación en el sector ganadero. La mayor parte de este metano emitido es químicamente transformado en la parte inferior de la atmósfera, mientras que entre el 6 al 10% es oxidado o consumido por bacterias en los suelos. Aunque esta última porción no es muy grande, es la única capaz de tener algún tipo de control o manejo por la mano del hombre. En este sentido, el 60% de este metano es oxidado en los suelos de los bosques, porcentaje que puede variar por efectos del cambio climático y/o del uso del suelo. Debido a ello, es necesario entender cuáles son los factores ambientales y de manejo que promueven la oxidación de metano en los bosques para maximizar este servicio ambiental. Este conocimiento permitirá, además de poner en valor cualitativo a este servicio poco conocido, realizar cálculos de huella de C de distintas actividades y estimar el rol de mitigación de GEI de los bosques en general.



Figura 1. Ejemplo de medición de metano con cámara estática instalada en el suelo donde se toman muestras de aire de su interior, en intervalos regulares de tiempo, para analizar el cambio en la concentración de metano en la interfaz suelo-atmósfera.

El metano tiene la particularidad de ser producido (además de oxidado) en el suelo y esa producción está vinculada a la actividad de microorganismos denominados metanógenos, mientras que el consumo de metano es realizado por los metanotrofos. La producción se produce bajo condiciones de alta humedad y bajo contenido de oxígeno (anegamiento o en zonas profundas del suelo), mientras que el consumo ocurre en condiciones de alta oxigenación. Así, se considera que los suelos mitigan las emisiones de CH₄ cuando los procesos de oxidación son mayores a los de producción. Este proceso suele medirse usando cámaras instaladas en el suelo (**Figura 1**), en las que se registra el cambio en la concentración de CH₄ en el aire del recinto que queda por encima del suelo dentro de la cámara, en un determinado intervalo de tiempo. Este cambio puede ser positivo (emisión neta desde el suelo), nulo o negativo (consumo neto).

La oxidación de metano en el suelo es regulada no sólo por la actividad biológica de los metanotrofos, sino también por la capacidad de difusión de los gases dentro del perfil del suelo. De esta manera, la oxidación máxima (y por ende, la capacidad de mitigación) puede ser alcanzada en condiciones de alta difusividad de gases, situación que depende de diversos factores tales como la textura y la estructura del suelo, el contenido de humedad, la temperatura y el contenido de materia orgánica, entre los más importantes. Hasta ahora sabemos que el consumo de CH₄ depende de múltiples factores y que en general, y debido a que los árboles promueven una estructura de suelo que favorece la difusión de gases, se considera que los bosques son los ecosistemas que en mayor medida consumen metano. Sin embargo, las evidencias provenientes de estudios de caso han mostrado que no todos los bosques son consumidores netos de CH₄ o, al menos, no lo hacen en la misma medida. Cabe entonces preguntarse qué factores climáticos, edáficos y/o de origen humano operan para promover la oxidación de metano en los bosques?, ¿los factores influyen en igual sentido y magnitud sobre los distintos tipos de bosques?, ¿estos factores operan de manera aislada o en una combinación particular?

Datos de flujos de CH₄ medidos en suelos de bosques alrededor del mundo (templados, boreales, tropicales, subtropicales y sabanas) (**Figura 2**) indican que, en general, los bosques a nivel global pueden ser considerados sumideros de CH₄, propiedad sugerida por un promedio global de -3,063 kg/ha/año (DE = ±6,028; n = 478 observaciones). Este valor negativo en el valor del flujo denota la disminución de este gas por

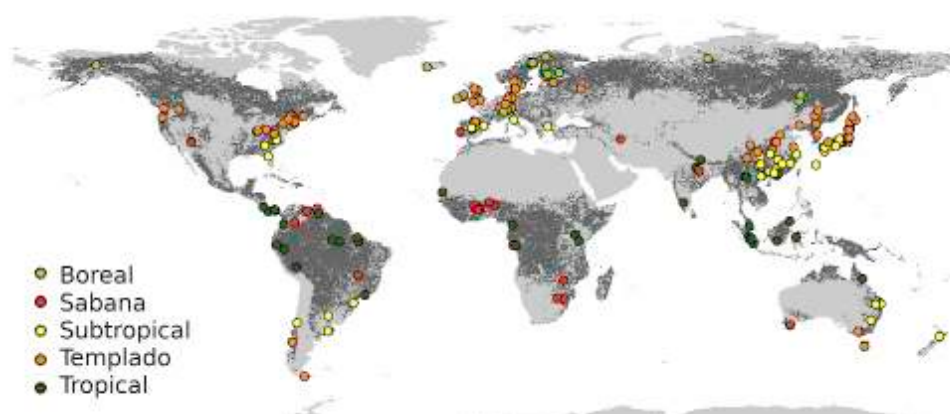


Figura 2. Ubicación geográfica de todas las observaciones de medidas in situ de flujos de metano incluidas en la base de datos global. Los colores diferentes de los símbolos corresponden a diferentes categorías de biomas según la clasificación de Whittaker. Los valores de flujos y de los factores climáticos, edáficos y antrópicos pueden consultarse en: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12860750.v1>.

unidad de área y de tiempo. El 90% de todas las observaciones presentaron valores de flujo menores o cercanos a cero, lo cual indica consumo neto o no emisión. Este comportamiento es consistente a través de los diferentes biomas, excepto para las sabanas (**Figura 3A**), bioma que presentó un 40% de casos con emisiones netas (**Figura 3B**).

A nivel global, las precipitaciones y las temperaturas interactúan en una manera que limitan la oxidación de metano a zonas con temperaturas anuales menores a 18°C y con niveles de precipitaciones entre 700 y 2000 mm al año. Por fuera de estos intervalos de precipitaciones y temperaturas, los bosques generalmente se comportan como emisores de CH₄. La explicación para estos patrones es compleja, pero podría deberse principalmente al efecto de estos factores climáticos (o de su interacción) sobre la tasa de oxidación de CH₄. Cuando los niveles de precipitación anual son bajos, la oxidación de CH₄ podría estar limitada por una reducida actividad biológica de las bacterias metanotrofas en ambientes con alto estrés hídrico. En contraste, cuando los niveles de precipitación anual superan los 2000 mm, la oxidación del metano estaría restringida por la difusión del gas en los perfiles del suelo, ya que éste se encuentra mayormente saturado de agua y los gases tienen baja difusión en medios acuosos. Más aún, este fenómeno se exagera en bosques donde tanto las precipitaciones como las temperaturas anuales son altas, ya que a la restringida difusividad del gas se le suma la limitación de las metanotrofas de estar activas a altas temperaturas. Por otro lado, las bacterias metanogénicas (recordemos que son las que producen CH₄) sí pueden tener una alta actividad biológica en condiciones de elevadas temperaturas, lo que también podría explicar que bajo estas condiciones climáticas se observan emisiones de CH₄.

Asimismo, parte de las variaciones en la capacidad de oxidación de metano también está relacionada a propiedades edáficas. La oxidación de CH₄ es mayor en suelos con pH alto, bajo contenido de materia orgánica y baja densidad aparente. Las metanotrofas son sensibles a condiciones ácidas (pH debajo de 4), las cuales reducen su actividad biológica; mientras que el efecto de la densidad aparente es de tipo físico limitando la difusividad de CH₄ en los suelos donde la primera es alta. El efecto del contenido de materia orgánica está relacionado a que su incremento promueve la descomposición y respiración de carbono microbiano lo que podría resultar en un incremento en la producción de CH₄. Además de entender cómo estos factores afectan la oxidación o la emisión de CH₄, es importante resaltar que los factores edáficos y climáticos no operan de manera aislada afectando los flujos del gas, sino que lo hacen en forma aditiva para finalmente determinar su dirección y magnitud.

Los patrones comentados surgen de considerar los flujos de metano a nivel de promedio anual y en todos los tipos de bosque; es decir, sin considerar variaciones entre biomas (ni estacionales). Sin embargo, el efecto de los factores climáticos y edáficos varía dentro de cada bioma, tanto en dirección como en magnitud (**Figura 4B**). Es decir, que dependiendo del bioma estos factores podrían promover la oxidación de CH₄ o podrían inducir a emisiones. Así, en bosques boreales la oxidación de CH₄ es mayor en suelos ácidos y con alto contenido de materia orgánica y densidad aparente, pero no está influenciada por los factores climáticos medios del sitio. En los bosques templados, la oxidación de CH₄ es mayor en sitios con altas precipitaciones y bajas temperaturas, suelos con acidez moderada, con bajo contenido de materia orgánica y baja densidad aparente. En los bosques más cálidos (tropical, subtropical y sabana) la temperatura es el factor de mayor importancia (indicado por el valor de la pendiente en la **Figura 3B**) la cual explica las variaciones en el flujo de CH₄, pero con efectos contrastantes en cada uno de estos tres biomas. El aumento en la temperatura media anual favorece la oxidación de CH₄ en los bosques tropicales, pero tiende a promover la emisión de este gas en los subtropicales y en las sabanas. Estos resultados permiten predecir el posible impacto diferencial del cambio climático so-

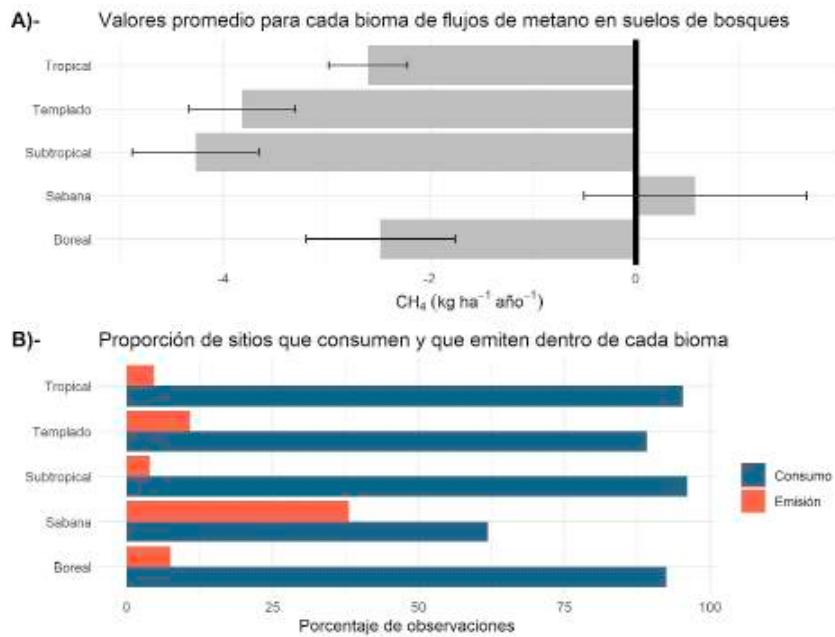


Figura 3. A)- Valores promedio de flujo anual de metano (CH₄) considerando todas las observaciones en suelos de bosques dentro de cada bioma. **B)-** Porcentaje de observaciones en que los suelos fueron consumidores netos o emisores netos de metano dentro de cada bioma.

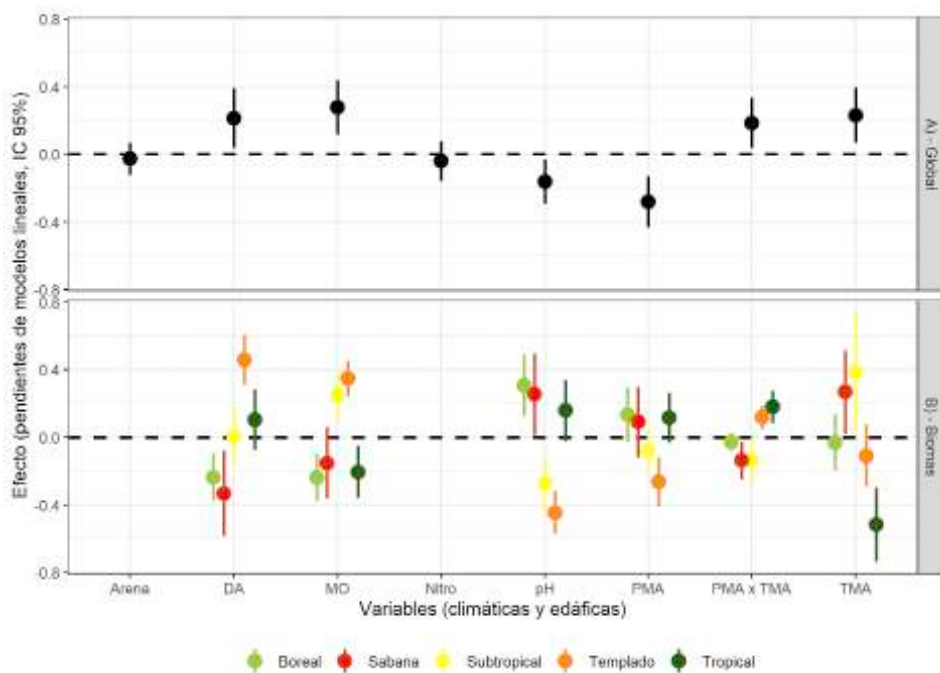


Figura 4. Relación entre factores climáticos y edáficos y flujos de metano a nivel global **(A)** y dentro de cada bioma boscoso **(B)**. Estos valores corresponden a los coeficientes parciales obtenidos de modelos lineales mixtos. Valores positivos indican que el aumento en la variable ambiental lleva a un aumento en el flujo de metano (valor más positivo, es decir, en el sentido de emisión). Obsérvese que el patrón dentro de cada bioma puede tener el mismo sentido que el análisis promedio global o bien sentido y/o magnitud contrarios, sugiriendo que los drivers dentro de cada bioma pueden diferir de la tendencia general. Arena: porcentaje de arena en suelos; DA: densidad aparente (g/cm³); MO: porcentaje de materia orgánica en el suelo; Nitro: porcentaje de nitrógeno en suelo; pH en suelos; PMA: precipitación media anual; TMA: temperatura media anual; y PMA x TMA es un término de interacción entre precipitación y temperatura media anual.

bre los distintos tipos de bosques del mundo.

Por otra parte, y a escala global, los factores antrópicos relacionados con el grado de urbanización (densidad poblacional humana y edificación) y el tipo de uso del suelo (bosques primarios, secundarios, plantaciones, forestaciones sobre pastizales y sistemas agroforestales) tienen una menor influencia sobre los flujos de CH₄ que los factores climáticos y edáficos antes discutidos. No obstante, existe evidencia de que la tasa de oxidación de CH₄ es menor en bosques secundarios y plantaciones que en bosques primarios. Estos estudios comparan o contrastan diferentes tipos de uso del suelo dentro de una misma situación ambiental o climática, lo que indica que es posible que el cambio en el uso del suelo (considerando variaciones entre distintos tipos de bosques, con mayor o menor intensificación y presión de uso) y la presión demográfica tengan un impacto sobre los flujos de CH₄ a escala local y que su importancia se vea enmascarada en el análisis a escala de bioma o global. Por lo tanto, podríamos interpretar que, aunque un bosque implantado pueda consumir menos CH₄ que su vecino bosque nativo primario, ambos consumirán este gas si se encuentran bajo condiciones climáticas y edáficas que promuevan su oxidación.

Para finalizar, el principal mensaje de nuestro trabajo es que el flujo de CH₄ en los suelos de bosques a escala global, y por lo tanto, su capacidad de mitigación de este importante gas de efecto invernadero, es el resultado de la acción de múltiples factores tanto climáticos como edáficos. Por otra parte, nuestros resultados también sugieren que el efecto del cambio climático sobre el secuestro de CH₄ no sería homogéneo en los bosques presentes en los distintos biomas. Considerando que el calentamiento global representa uno de los agentes de cambio climático de mayor importancia para el final de este siglo, los resultados aquí expuestos sugieren que el incremento de temperatura podría promover las emisiones de CH₄ en sabanas y bosques subtropicales, no producir efectos en bosques templados y boreales, y promover el consumo de CH₄ en bosques tropicales. Por supuesto, estos patrones obedecen a valores promedios, pudiendo modificarse en uno u otro sentido a escala regional y local, al considerar factores que varían a una escala espacial local, incluyendo efectos antrópicos.

Los resultados descritos en esta nota derivan principalmente de un trabajo recientemente publicado por nuestro grupo de trabajo en la revista científica *Global Change Biology* (Gatica et al. 2020).

Gatica G., Fernández M.E., Juliarena M.P. & Gyenge J. (2020) Environmental and anthropogenic drivers of soil methane fluxes in forests: global patterns and among-biomes differences. *Global Change Biology*. 10.1111/gcb.15331

