

**EMISIÓN DE METANO POR TERMITAS (ORDEN: BLATTODEA, INFRAORDEN:
ISOPTERA) EN SABANAS TRANSFORMADAS EN PUERTO GUADALUPE, META,
COLOMBIA**

Daniel Echeverri Calle

Trabajo de Grado presentado como requisito
para optar por el título de Ecólogo

Director:

Andrés Etter Rothlisberger

19 de mayo de 2014

Bogotá, Colombia.

Pontificia Universidad Javeriana

Facultad de Estudios Ambientales y Rurales



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

EMISIÓN DE METANO POR TERMITAS (ORDEN: BLATTODEA, INFRAORDEN: ISOPTERA) EN SABANAS TRANSFORMADAS EN PUERTO GUADALUPE, META, COLOMBIA

TÍTULO ABREVIADO: EMISIÓN DE METANO POR TERMITAS EN SABANAS

DANIEL ECHEVERRI-CALLE (autor de correspondencia)

TUTOR: ANDRÉS ETTER-ROTHLISBERGER

Facultad de estudios ambientales y rurales. Pontificia Universidad Javeriana. Transversal 4 No.42-00. Edificio J. Rafael Arboleda, S.J. Piso 8. Bogotá, Colombia.

echeverri.d@javeriana.edu.co

RESUMEN

Con el paso de los años, la explosión demográfica colombiana ha ocasionado diversos impactos ambientales sobre los ecosistemas debido a que la gente intenta suplir sus necesidades económicas y vitales. La región de la Orinoquía ha sido una de las áreas más afectadas por procesos de transformación y uso del paisaje, tales como la ganadería intensiva y extensiva y la siembra de pastos introducidos. Estos procesos tienen impactos locales y globales, especialmente si contribuyen al calentamiento global. Las termitas son organismos que se ven afectados por estas transformaciones del paisaje, ya que emiten metano a través de sus procesos digestivos. En este estudio se evaluaron tres coberturas en Puerto Guadalupe, Meta, para analizar el efecto que podría tener la ganadería sobre las emisiones de metano de las termitas. Analizando las coberturas de sabana natural (SN), potreros de ganadería usados desde hace 5 años (P5) y potreros de ganadería usados desde hace 10 años (P10) se calcularon los cambios de emisiones de termitas evaluando diversos factores, como las densidades, las especies de termitas (*Syntermes dirus* y *Anoplotermes pacificus*) y los volúmenes de los termiteros. Los datos indican que la transformación a potreros aumenta la densidad de los termiteros, ocasionando un

aumento en las emisiones de metano de las termitas, por lo que la cobertura de P10 fue la que representó la mayor emisión de metano. Las mayores emisiones de metano corresponden a la cobertura P10 con 0,35 gramos de metano por hectárea al día, mientras que las menores emisiones corresponden a la cobertura P5 con 0,12 gramos de metano por hectárea al día.

PALABRAS CLAVE

Termitas, calentamiento global, metano, Llanos Orientales, alteración ecosistémica

ABSTRACT

Over the years, the Colombian population has grown and has caused various environmental impacts on ecosystems, since people try to satisfy their economic and vital needs. The Orinoco region has been one of the most affected areas by transformation processes and uses of the landscape, such as the intensive and extensive farming and planting of foreign grasses. These processes have local and global impacts, especially if they contribute to global warming. Termites are organisms that are affected by these changes in the landscape and emit methane through their digestive processes. In this study, three land covers in Puerto Guadalupe, Meta, were evaluated to analyze the effect that livestock could have on methane emissions from termites. Analyzing the land covers of natural savanna (SN), livestock pastures used for 5 years (P5) and livestock pastures used for 10 years (P10) emission changes were estimated by analyzing various factors like termite mounds densities, termite species (*Syntermes dirus* and *Anoplotermes pacificus*) and termite mounds volume. Data indicate that the transformation to pasture increases the density of termite mounds, increasing methane emissions from termites, therefore, land cover P10 showed the greatest emission of methane. The highest methane emissions corresponds to the land cover P10 with 0,35 grams of methane per hectare per day, while the lowest emissions corresponds to P5 coverage with 0,12 grams of methane per hectare per day.

KEY WORDS

Termites, global warming, methane, Llanos Orientales, ecosystem alteration

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas terrestres están siendo constantemente modificados y alterados por los humanos para suplir sus diferentes necesidades económicas y sociales. Se estima que el ser humano ha transformado entre un tercio y un medio de la superficie terrestre, que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha incrementado en un 30% desde la Revolución Industrial y que más de la mitad de toda el agua dulce está siendo utilizada por la especie humana (Vitousek *et al.* 1995). Colombia ha tenido un crecimiento demográfico de 16 millones en 1960, a 47 millones de habitantes en 2012, casi triplicando el número de habitantes en 52 años (DANE 1995). De esta manera, los seres humanos de distintas ciudades han buscado la manera de saciar sus necesidades alimenticias y energéticas, expandiendo la frontera agrícola (deforestando y extendiendo la ganadería y cultivos) y explotando más sistemas energéticos (como el minero, el hidrológico y el petrolero) (Etter *et al.* 2006). En el Meta, la densidad poblacional ha incrementado de ocho habitantes por kilómetro cuadrado en 1973, a doce habitantes por kilómetro cuadrado en 2012. Ha habido una conversión aproximada de sabana natural a cultivos y pastos introducidos en un 6,7%, una expansión de la actividad agrícola en un 9,3% y una pérdida de sabanas de altiplanicie de un 2,6% por las plantaciones de palma, caña de azúcar, sorgo, maíz y soya (Romero-Ruiz *et al.* 2013). Las regiones más pobladas de Colombia son la Andina, la Caribe, la Orinoquía y la Pacífica, en ese orden, lo cual explica la gran transformación a la cual han sido sometidas estas zonas (DANE 1995).

Aunque posiblemente traigan beneficios económicos a corto plazo, el cambio de uso del paisaje y la modificación de los ecosistemas ocasionan graves daños a los seres vivos y a las interacciones bióticas entre ellos, como la contaminación de las fuentes hídricas, la erosión y la deforestación (Chapin *et al.* 2000). La cadena trófica varía de ecosistema a ecosistema y responde a miles y a millones de años de adaptaciones generadas por la

selección natural, en donde cada zona natural posee distintas conexiones de materia y energía para aprovechar los recursos y controlar las poblaciones de los seres vivos (Duffy *et al.* 2007). Las mecánicas tróficas de las termitas, importantes descomponedores y formadores de suelos, se han visto afectadas por las actividades económicas humanas en los Llanos Orientales de Colombia, alterando los ciclos naturales de las sabanas, sembrando especies introducidas como *Brachiaria*, alterando la mecánica de incendios naturales e implementando monocultivos y ganadería extensiva e intensiva (Amézquita 1998). Estos cambios en las interacciones de las termitas con su entorno podrían modificar su diversidad y su emisión de metano, un gas que contribuye al efecto invernadero (Sánchez 2011).

Los gases de efecto invernadero contribuyen al calentamiento global y son emitidos por procesos antrópicos y por procesos naturales (Mitchell 1989). Algunas fuentes naturales del dióxido de carbono son las fumarolas volcánicas, los incendios y combustión de materia orgánica y los procesos de respiración de seres aeróbicos. Algunas fuentes naturales del metano son los pantanos, los procesos de descomposición por microorganismos anaeróbicos y animales consumidores de celulosa, como los rumiantes y las termitas (Watson *et al.* 1992). El calentamiento global es uno de los efectos del cambio climático y está influenciado por varios factores como la concentración de gases de efecto invernadero (vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido de nitrógeno, ozono y clorofluorocarbonos), radiación recibida por el sol, campos magnéticos de la tierra, corrientes oceánicas, corrientes de viento, cantidad de organismos fotosintéticos y albedo (Caldwell *et al.* 2007). El cambio climático se ha intensificado en todo el mundo debido a los procesos productivos y energéticos de la humanidad, lo cual ha llevado a la degradación de los ecosistemas por las transformaciones del paisaje (Levy & Kolk 2002).

El metano es un gas de efecto invernadero de gran importancia, puesto que su potencial calorífico es 23 veces mayor que el del dióxido de carbono (Spokas *et al.* 2006). Las termitas digieren la celulosa y emiten metano, con la ayuda de protozoos flagelados en sus

intestinos o con la enzima celulasa, dependiendo de su complejidad evolutiva (Carmona *et al.* 2009). El metano es un gas de efecto invernadero muy abundante, superado por el dióxido de carbono, y representa un 18% de los gases de efecto invernadero del planeta (Montenegro *et al.* 2000). De forma similar, se ha estimado que las termitas emiten entre un 3 y un 19% del metano mundial (Bignell *et al.* 1997). Otras estimaciones han sugerido que las termitas podrían emitir solamente el 0,2% del metano global, con 27 millones de toneladas (27 Tg) al año (Jamali *et al.* 2013).

Las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia representan la segunda extensión más grande de este ecosistema en Sudamérica, superadas por los Cerrados brasileños (Olson *et al.* 2001). Los Llanos Orientales componen un 28% del territorio nacional, es decir, poseen una extensión de casi 320.000 kilómetros cuadrados (Medina 2013). A pesar de la vasta importancia ecológica de este ecosistema, solamente un 5% de las sabanas naturales de los Llanos está siendo administrado como Área Nacional Protegida. Se estima que los Llanos Orientales seguirán siendo transformados significativamente puesto que 12.000 kilómetros cuadrados han sido seleccionados para plantaciones, explotaciones petroleras y actividades mineras (Romero-Ruiz *et al.* 2012). En Colombia, la región orinocense ha sido transformada y empleada para la ganadería extensiva e intensiva, como en las regiones amazónicas y andinas (Murgueitio 1999). Las termitas son susceptibles a los cambios del ambiente, puesto que su diversidad y emisiones de metano pueden verse alteradas por las transformaciones del paisaje, así como sus dinámicas e interacciones con el ecosistema (Abe *et al.* 2000).

El propósito de esta investigación es analizar y cuantificar los cambios de las sabanas y las emisiones de las termitas para poder aportar datos y afinar el estudio realizado en esta misma área por Sánchez (2011).

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Pregunta general:

¿Cómo afecta la transformación de sabanas naturales a pasturas introducidas a las emisiones de metano por termitas?

Preguntas específicas:

- 1- ¿Cómo varía la densidad de los termiteros y los géneros de termitas con el tiempo de transformación de sabanas naturales?
- 2- ¿Cómo cambia la emisión de metano en termiteros de diferentes estados de transformación?
- 3- ¿Cómo varían las emisiones de metano en potreros de diferentes edades y en diferentes estados de transformación?

OBJETIVOS

Objetivo general:

Explicar la manera en la que la transformación de sabanas naturales a pasturas introducidas afecta las emisiones de metano por termitas.

Objetivos específicos:

- 1- Determinar la variación de la densidad de los termiteros y los géneros de las termitas con el tiempo de transformación de sabanas naturales.
- 2- Determinar la forma en la que cambia la emisión de metano en termiteros de diferentes estados de transformación.
- 3- Explicar la manera en la que varían las emisiones de metano en potreros de diferentes edades y en diferentes estados de transformación.

HIPÓTESIS

Hipótesis general:

Las emisiones de metano por termitas se verán afectadas por la transformación de sabanas naturales a pasturas introducidas

Hipótesis específicas:

- 1- Las densidades de los termiteros y los géneros de las termitas variarán con el tiempo de transformación de sabanas naturales.
- 2- La emisión de metano en termiteros de diferentes estados de transformación cambiará.
- 3- Las emisiones de metano en potreros de diferentes edades y en diferentes estados de transformación variarán.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción del área de estudio

Al Oriente de Colombia, están localizados los Llanos Orientales, una vasta región que goza de una gran importancia económica, cultural y natural nacional. El área donde se realizó el estudio se llama Puerto Guadalupe, un pequeño poblado con jurisdicción de Puerto López, de los cuales los separan unos 75 kilómetros. Las coordenadas aproximadas de la zona habitada de Puerto Guadalupe, Meta, son N 4°19'1", W 72°27'22". En la **Figura 1** se muestra la ubicación del departamento del Meta, de los seis sitios de muestreo y el poblado de Puerto Guadalupe.

El departamento del Meta en Colombia se caracteriza por pertenecer al ecosistema de sabana tropical. Con el paso de los años y con la sobrepoblación, el ecosistema de sabana se ha ido perdiendo debido al reemplazo de sabanas por potreros para

implementar la ganadería intensiva y otras actividades económicas. El departamento tiene un patrón bimodal de lluvias (dos estaciones de mayor precipitación) primero de abril a junio y luego de agosto a noviembre (Escobar 2001). Los ecosistemas de sabana se caracterizan por tener una prevalencia en flora herbácea y por tener un dosel arbóreo y arbustivo de baja altura, más frecuente en las cuencas hídricas. Los suelos de los llanos orientales son oxisoles y ultisoles, por lo general de pH ácido y de baja fertilidad (Dezseo *et al.* 2008).

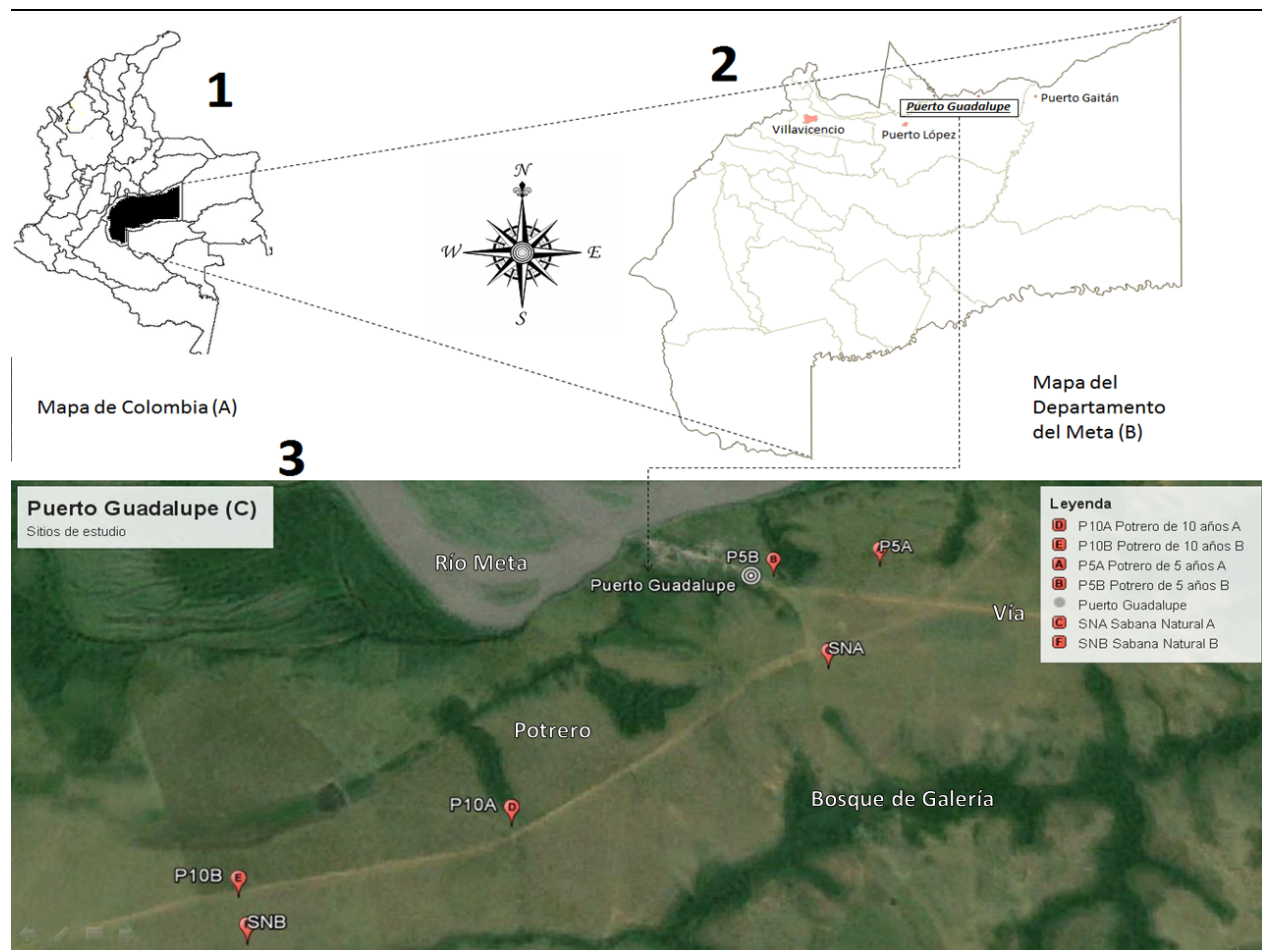


Figura 1. 1) Mapa de Colombia y ubicación del departamento del Meta. 2) Mapa del Meta y ubicación de Puerto Guadalupe. 3) Imagen satelital indicando la localización de Puerto Guadalupe y de los seis sitios de muestreo (Google Earth Pro 7.1).

2.2. Materiales y métodos empleados

Para llevar a cabo el estudio se utilizaron diversos materiales. Entre ellos se encuentran 3 canecas de plástico de 75 litros para tapar los termiteros (los termiteros en los que no cabían los tanques no fueron tomados en cuenta), un taladro para abrirle un orificio en la base a cada uno, tres pequeños aditamentos de caucho con sus respectivas tapas para cubrir y destapar dicho orificio, un medidor de metano industrial “GPT100 Portable Gas Detector” (ver **figura 2**), un flexómetro para determinar la altura y el diámetro de los termiteros (ver **figura 5**), un palín de acero para preparar el terreno y para crear una zanja alrededor de los tanques, un computador portátil para llevar a cabo los cálculos y administrar todos los datos, lapiceros y un cuaderno para llevar constancia y registrar todos los datos tomados y pequeños frascos de 5ml llenos de alcohol con pinzas entomológicas para la colecta de termitas. Las coordenadas de GPS fueron adquiridas con una cámara fotográfica “Canon Powershot SX230 HS”.



Figura 2. Foto de uno de los tanques de agua con el medidor de metano “GPT100 Portable Gas Detector”.

Diversas estimaciones y cálculos tuvieron que realizarse en esta investigación, como lo son la selección de las áreas de estudio, la determinación de la densidad de los

termiteros, el volumen de los termiteros, la emisión de metano de los termiteros y la identificación de las especies de las termitas. Algunas fórmulas para llevar a cabo los cálculos, como la densidad y el volumen de los termiteros, se obtuvieron a partir de la tesis de Sánchez (2011).

2.2.1. Selección de las áreas de estudio

La fase de campo del proyecto comenzó el día 9 de agosto de 2013 y finalizó el 24 de agosto del mismo año, es decir, en temporada de lluvias. Se seleccionó un total de seis áreas de muestreo para obtener todos los datos. Las seis áreas de estudio consistían en tres estados de transformación en los agroecosistemas de potrero y sabana y sus replicaciones. Los tres estados de transformación eran: potreros transformados con siembra de pastos introducidos para ganado desde hace 5 años (potrero de 5 años **P5A** y **P5B**), potreros transformados con siembra de pastos introducidos para ganado hace 10 años (potrero de 10 años **P10A** y **P10B**) y sabanas naturales que no han sido intervenidos desde hace más de 10 años (sabanas naturales **SNA** y **SNB**).

Las áreas de muestreo fueron seleccionadas por medio de la observación y a través de la indagación de las condiciones del terreno con los dueños de las zonas. Cada área de transformación (P5A, SNA y P10A) cuenta con su zona de replicación (P5B, SNB y P10B) para darle un peso mayor a los datos recolectados. En la **Tabla 1** se indican las coordenadas geográficas de las seis áreas de muestreo.

Área de muestreo	Coordenadas GPS
SNA	N 4°18'38", W 72°27'6"
SNB	N 4°17'34", W 72°29'4"
P5A	N 4°19'5", W 72°26'53"
P5B	N 4°19'2.44", W 72°17.31"
P10A	N 4°17'6", W 72°28'13"
P10B	N 4°17'44", W 72°29'7"

Tabla 1. Áreas de muestreo y sus respectivas coordenadas GPS.

A partir de ahora, los terrenos de P5A, P5B, P10A, P10B, SNA y SNB serán referidos como “sitios”, mientras que los terrenos de P5, P10 y SN serán llamados “coberturas” y representarán los valores promedio entre los “sitios”.

2.2.2. Densidad de los termiteros

Se estimó la densidad de los termiteros en las seis coberturas del estudio. La densidad de los termiteros (**D**) hace referencia a la cantidad de termiteros presentes en una hectárea, ya que se estimó la distancia entre 100 nidos de termitas en cada cobertura. Una mayor densidad determina una aglomeración más grande en un espacio más pequeño. Para calcular la densidad de los termiteros se utilizó la **Ecuación 1**, en donde se toma en consideración el promedio de distancia entre termiteros (**d**) (Sánchez 2011).

$$D = (100 / d)^2$$

Ecuación 1

En donde:

d: promedio de distancia entre termiteros (metros)

D: densidad de los termiteros por hectárea (termiteros/hectárea)

La distancia entre los termiteros se tomó calculando la lejanía entre los termiteros más cercanos entre sí para pasar a determinar las dimensiones del siguiente termitero en cada cobertura. Después de medir las dimensiones de los termiteros, dicho termitero era marcado con un pequeño palo de madera, con cuerda roja y con cinta de enmascarar para evitar la repetición del conteo de los termiteros y llevar constancia del número de dicho termitero.

2.2.3. Volumen de los termiteros

A cada termitero también se le procede a medir el diámetro basal (**d**) y la altura (**h**).

El volumen de los termiteros (**V**) se calculó con la **Ecuación 2**. El volumen de los termiteros se utiliza para calcular la emisión generada por cada nido, teniendo en cuenta la lectura del dispositivo medidor de metano (Sánchez 2011). Se asumieron volúmenes

cónicos y cilíndricos del termitero, puesto que así se aproxima más a la forma del nido, como lo muestra la **figura 5**.



Figura 5. Dibujo de las dimensiones para obtener el volumen del termitero con su altura (h) y su diámetro (d) (Dibujo de Sánchez 2011).

$$V = \left[\left(\frac{\pi \cdot h(d^2)}{12} \right) + \left(\frac{\pi(d^2)}{8} \right) \right] / 1000$$

Ecuación 2

En donde:

h: altura del termitero (centímetros)

d: diámetro del termitero (centímetros)

V: volumen del termitero (litros)

La **Ecuación 2** se utiliza cuando la altura y el diámetro se han tomado en centímetros, de ahí la necesidad de dividir entre 1000 al final para convertir los centímetros cúbicos a litros.

La **Ecuación 3** calcula el volumen total del promedio por hectárea de los termiteros de cada especie. Se puede usar para *Syntermes dirus*, *Anoplotermes pacificus* y ambas.

Ecuación 3

$$\tilde{V}t_{spi} = \tilde{V}_{spi} \cdot D_{spi}$$

En donde:

$\tilde{V}t_{spi}$: volumen total del promedio por hectárea (litros/hectárea) de los termiteros de cada especie.

\tilde{V}_{spi} : volumen promedio de los termiteros de cada especie (litros)

D_{spi} : densidad de los termiteros de cada especie (termiteros/hectárea)

2.2.4. Emisión de metano de los termiteros

Para identificar la emisión de los termiteros se utilizaron las ecuaciones 4 hasta la 8. Las emisiones se tomaron de 9 termiteros de los sitios P5A, P10A y SNA, y tres termiteros en cada uno de los sitios de P5B, P10B y SNB, es decir, doce termiteros por cobertura (se calcularon 3 termiteros en cada cobertura B por limitaciones de tiempo y accesibilidad). Para cada termitero, se registraron las emisiones en tres etapas de día, mañana (e_m), tarde (e_t) y noche (e_n) (primera, segunda y tercera emisión). Si las horas no son iguales en todos los termiteros, se calculará el cambio de las horas con respecto a los minutos de diferencia entre medición (Δh).

En la **Ecuación 4** se cuantifica la cantidad en partes por millón (ppm) emitidos por litro de termitero, por hora, en la mañana (e_m), tarde (e_t) o noche (e_n). Se toman en consideración la lectura de emisión con el dispositivo medidor de gases (li), los volúmenes del termitero (V) y la caneca (v), la diferencia de horas entre instalación y medición (Δh).

$$ei = li (v - V) / (\Delta h \cdot V)$$

Ecuación 4

En donde:

li: lectura de emisión con el medidor de metano (partes por millón)

v: volumen de la caneca (75 litros siempre en este estudio)

V: volumen del termitero (litros)

Δh : diferencia de horas entre la instalación y la medición (hora)

ei: emisión del termitero (partes por millón/por hora y por litro de termitero)

e_m : primera emisión del termitero [por la mañana] (partes por millón/por hora y por litro de termitero)

e_t : segunda emisión del termitero [por la tarde] (partes por millón/por hora y por litro de termitero)

e_n : tercera emisión del termitero [por la noche] (partes por millón/por hora y por litro de termitero)

La conversión de partes por millón a miligramos se llevó a cabo con la **Ecuación 5**. La fórmula original convierte partes por millón de metano a miligramos por metro cúbico, por lo que se necesita dividir entre 1000 al final para convertirlo a litros (si se divide nuevamente 1000 se pasarán de miligramos a gramos) (Lenntech).

$$ed = (0,706 \cdot ei) / 1000$$

Ecuación 5

En donde:

ei: emisión diaria de los termiteros (partes por millón)

ed: emisión de metano diaria (miligramos/litro/por hora y por litro de termitero)

La sumatoria de las emisiones tomadas del termitero para cada especie (**ed**) se calculó con la **Ecuación 6**. En esta ecuación se sumaron las tres ecuaciones anteriores es decir, las tres emisiones del día, mañana (**e_m**), tarde (**e_t**) y noche (**e_n**). Pasaron 6 horas por la mañana, 6 horas por la tarde y 12 horas por la noche.

$$Ed_{spi} = (e_m \cdot 6) + (e_t \cdot 6) + (e_n \cdot 12)$$

Ecuación 6

En donde:

e_m: primera emisión del termitero [por la mañana] (partes por millón/hora)

e_t: segunda emisión del termitero [por la tarde] (partes por millón/hora)

e_n: tercera emisión del termitero [por la noche] (partes por millón/hora)

Ed_{spi}: sumatoria de las emisiones tomadas del termitero para cada especie (partes por millón/por día y por litro de termitero)

Para obtener las emisiones promedio diarias por hectárea para cada especie se toma en consideración el dato de la **Ecuación 6** y se multiplica por el volumen total promedio de los termiteros de la spi (especie) de una hectárea (**Ecuación 3**).

$$Etd_{spi} = Ed_{spi} \cdot Vt_{spi}$$

Ecuación 7

En donde:

Ed_{spi}: emisión de metano diario de cada especie (miligramos/litro)

Vt_{spi}: volumen total de cada especie (litro)

Etd_{spi}: emisión total diaria por cada especie (gramos/hectárea*día)

La emisión total diaria se describe en la **Ecuación 8**.

$$Etd = \Sigma Etd_{spi}$$

Ecuación 8

En donde:

ΣEtd_{spi} : sumatoria de emisión total diaria por cada especie (gramos/hectárea*día)

Etd: emisión total diaria (gramos/hectárea*día)

Posteriormente se calcularon las emisiones totales anuales por hectárea.

2.2.5. Identificación de las especies de las termitas

En todo el estudio, solamente se encontraron dos especies de termitas: *Anoplotermes pacificus* y *Syntermes dirus*. Se recolectaron 2 termitas soldados y 2 termitas zánganos de cada "sitio" de estudio (P5A, P5B, P10A, P10B, SNA y SNB) y se les dio muerte introduciéndolas en frascos de 5ml de volumen llenos de alcohol, manipulando las termitas con pinzas entomológicas. Se estima que las termitas murieron muy rápidamente (casi 10 segundos de vida al ser sumergidas en el alcohol) y que esta fue una de las formas más rápidas, indoloras y menos crueles para llevar a cabo la recolecta. Para identificar las especies de las termitas se utilizaron las claves taxonómicas "Termitidae (Insecta: Isoptera) de Colombia: claves genéricas y distribución geográfica" (Vargas 2004) y se compararon con las especies de Sánchez (2011). Se observaron cuidadosamente el color del cuerpo y la forma y el tamaño de las mandíbulas. En la **Tabla 2** se describe el porcentaje de termitas de las especies *Syntermes dirus* y *Anoplotermes pacificus* en las

coberturas estudiadas: sabana natural (SN), potrero de 5 años (P5) y potrero de 10 años (P10). *Syntermes dirus* fue la especie dominante en las coberturas de SN y P10, mientras que *Anoplotermes pacificus* fue la especie dominante en la P5.



Figura 3. Vista lateral y dorsal de *Syntermes dirus* (Burmeister) 1839, familia Termitidae, subfamilia Syntermitinae (Foto de Vargas 2004).



Figura 4. Vista lateral de *Anoplotermes pacificus* (Mueller) 1873, familia Termitidae, subfamilia Apicotermitinae (Foto de Vargas 2004).

2.3. Análisis de los datos

Al regresar de la fase de campo, se realizaron los análisis matemáticos concernientes a las ecuaciones previas. Donde fue pertinente, se utilizó el promedio y la desviación estándar para determinar la dispersión de los datos con respecto al valor promedio. Cuando se calcularon los datos de gramos sobre hectárea diarios, se removió un valor atípico (outlier) de cada cobertura. Cuando se calcularon las desviaciones estándar, se realizaron pruebas F para comparar la varianza entre dos muestras y pruebas t para calcular la diferencia significativa entre dos promedios (con la prueba F se determinó si las varianzas eran iguales o diferentes para utilizar la prueba t correspondiente). Cuando el P

de la prueba t es mayor a 0,05, no hay diferencias significativas entre los promedios, opuesto a lo que sucedería con un P menor a 0,05. Los resultados de las pruebas estadísticas se obtuvieron con Microsoft Excel 2010 y tienen una certeza del 95%.

Se utilizaron medidas de volumen (litros), de densidad (termiteros/hectárea), de distancia (metros), de masa (gramos) y de concentración (partes por millón).

Algunas ecuaciones, como las de los volúmenes de los termiteros, se basan en los cálculos de la investigación de Sánchez (2011).

3. RESULTADOS

3.1. Ocurrencia de las especies y densidades de termiteros

La proporción de ambas especies se puede constatar en la **Tabla 2**. *Syntermes dirus* fue la especie más abundante en las coberturas de SN (66%) y P10 (56%). En la cobertura de P5, *Anoplotermes pacificus* fue la especie dominante (62%). Es más probable encontrar la especie *Syntermes dirus* en las coberturas con menor transformación y mayor transformación, mientras que en la cobertura de P5, con una transformación mediana, es más probable encontrar a la especie *Anoplotermes pacificus*.

Cobertura	<i>Syntermes dirus</i>	<i>Anoplotermes pacificus</i>
SN	66	34
P5	38	62
P10	56	44

Tabla 2. Porcentaje de ocurrencia de las especies de termitas en las coberturas de estudio.

Se describe la densidad de los termiteros para las especies estudiadas y sus coberturas en la **Tabla 3**. La cobertura de P10 representa la mayor densidad de termiteros, superando en casi 5 veces la densidad de la cobertura de P5. SN es la segunda cobertura

más densa.

Cobertura	Termiteros / hectárea		
	<i>S. dirus</i>	<i>A. pacificus</i>	Total
SN	81,3	39,8	121,1
P5	40,6	64,6	105,2
P10	287,2	217,7	504,9

Tabla 3. Densidad promedio de los termiteros en las coberturas.

3.2. Volumen de los termiteros

En la **Figura 6** se pueden apreciar los volúmenes promedio de las coberturas, donde la cobertura de P5 representó un volumen mayor, en especial con la especie *Syntermes dirus*. *Syntermes dirus* siempre tuvo un volumen de termitero mayor que *Anoplotermes pacificus*. P10 tuvo un mayor volumen de termitero que SN.

Según las pruebas t, en la cobertura de SN se aprecian diferencias significativas entre los promedios de volumen de *Syntermes dirus* y *Anoplotermes pacificus* ($P=0,01$), así como con P5 entre las dos especies ($P=0,0001$). No se encuentran diferencias significativas entre los promedios de las especies en el P10 ($P=0,14$).

En la **Figura 7** se visualiza el volumen de los termiteros sobre hectárea. El volumen mayor fue el de la cobertura de P10, especialmente en la especie *Syntermes dirus*. Dicha especie fue la de mayor volumen por hectárea en todas las coberturas. SN presentó un volumen por hectárea ligeramente mayor que el de P5.

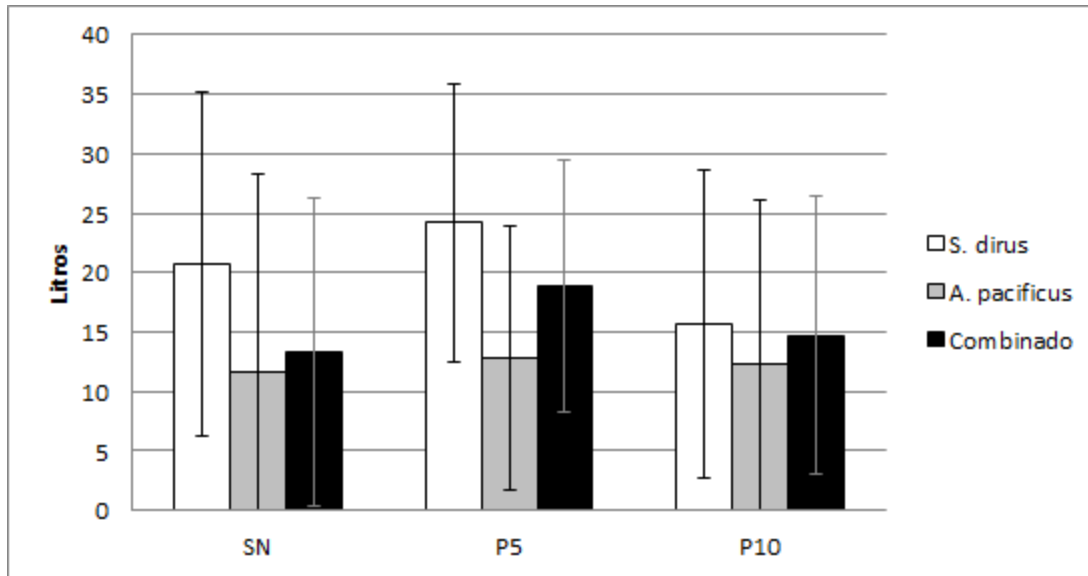


Figura 6. Volumen promedio de los termiteros en las coberturas. Incluida desviación estándar.

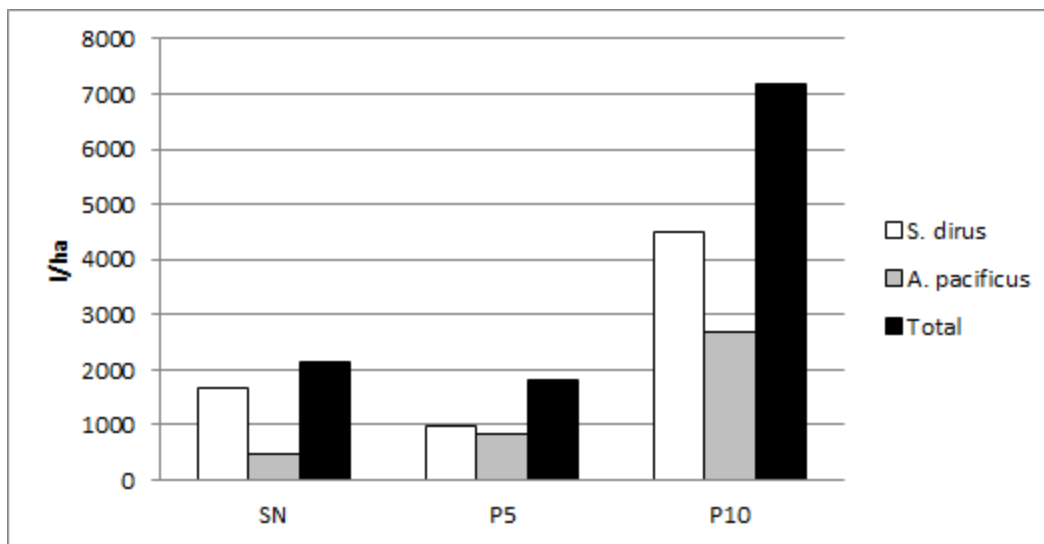


Figura 7. Volumen de los termiteros en cada cobertura.

3.3. Emisión de los termiteros

En la **Figura 8** se describen las partes por millón sobre litros. En dicha figura de la investigación se aprecia que la cobertura de SN por la mañana tuvo la mayor emisión, en especial en la especie *Anoplotermes pacificus*, como en todas las coberturas y todos los lapsos. Se observa que las emisiones eran mayores para las tres coberturas durante la

mañana, decreciendo por la tarde y emitiendo muy poco durante la noche. Se aprecia que en todos los lapsos, la cobertura de SN emite más, seguido por la de P5 y, finalmente por P10.

Según las pruebas t, en ninguno de los lapsos hay diferencias significativas entre los promedios de emisión (en partes por millón) de *Syntermes dirus* y *Anoplotermes pacificus* en ninguna de las coberturas. Valores de P por la mañana: SN (P=0,46), P5 (P=0,16) y P10 (P=0,83). Valores de P por la tarde: SN (P=0,7), P5 (P=0,21) y P10 (P=0,49). Valores de P por la noche: SN (P=0,11), P5 (P=0,48) y P10 (P=0,38).

En la **Figura 9** se describen las emisiones diarias de miligramos por litro en cada cobertura. Dicha figura arroja resultados fieles a la **Figura 8** en donde la mayor emisión corresponde a la cobertura de SN, especialmente de la especie *Anoplotermes pacificus*. También guarda el orden de las emisiones, con SN a la cabeza, seguido por P5 y por último P10. Solamente en la cobertura de P5 las emisiones de *Syntermes dirus* son superiores a las de *Anoplotermes pacificus*.

Según las pruebas t, en ninguna de las coberturas hay diferencias significativas entre los promedios de emisión (en miligramos) de *Syntermes dirus* y *Anoplotermes pacificus*. Valores de P: SN (P=0,41), P5 (P=0,75) y P10 (P=0,5).

En la **Tabla 4** se describieron las emisiones diarias en gramos sobre hectárea. Aunque la octava y novena figura concluyen que la emisión de *Anoplotermes pacificus* en la cobertura de SN fue la mayor, en la cuarta tabla se concluye que la mayor emisión le corresponde a la especie *Syntermes dirus* de la cobertura de P10, por su aglomeración superior en el área.

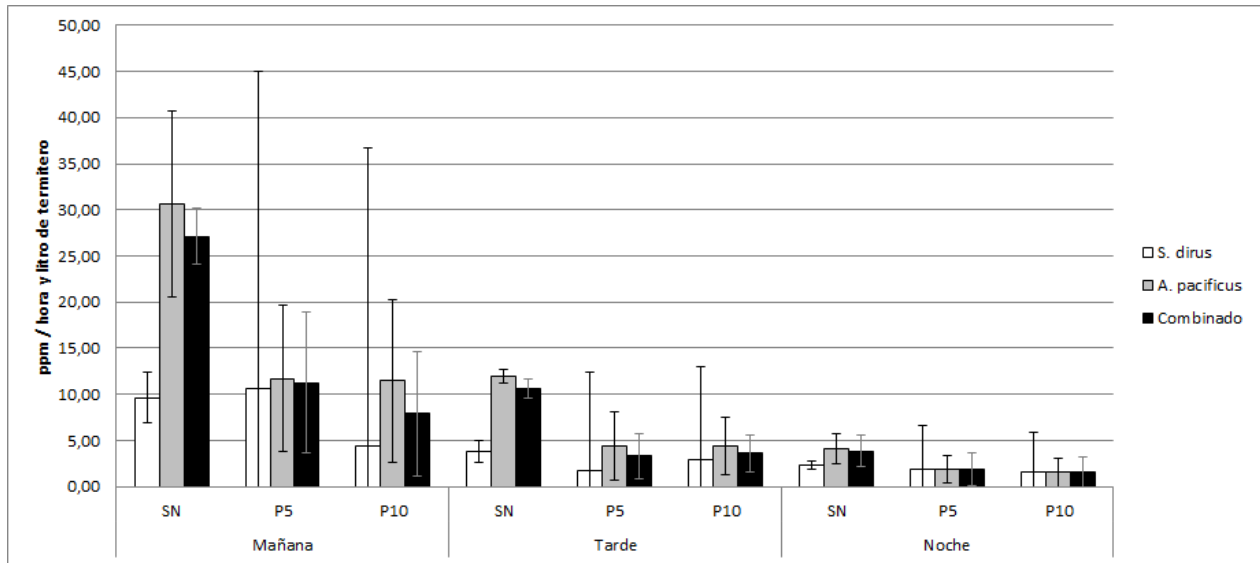


Figura 8. Emisión promedio de los termiteros durante mañana, tarde y noche por cada cobertura. Incluida desviación estándar.

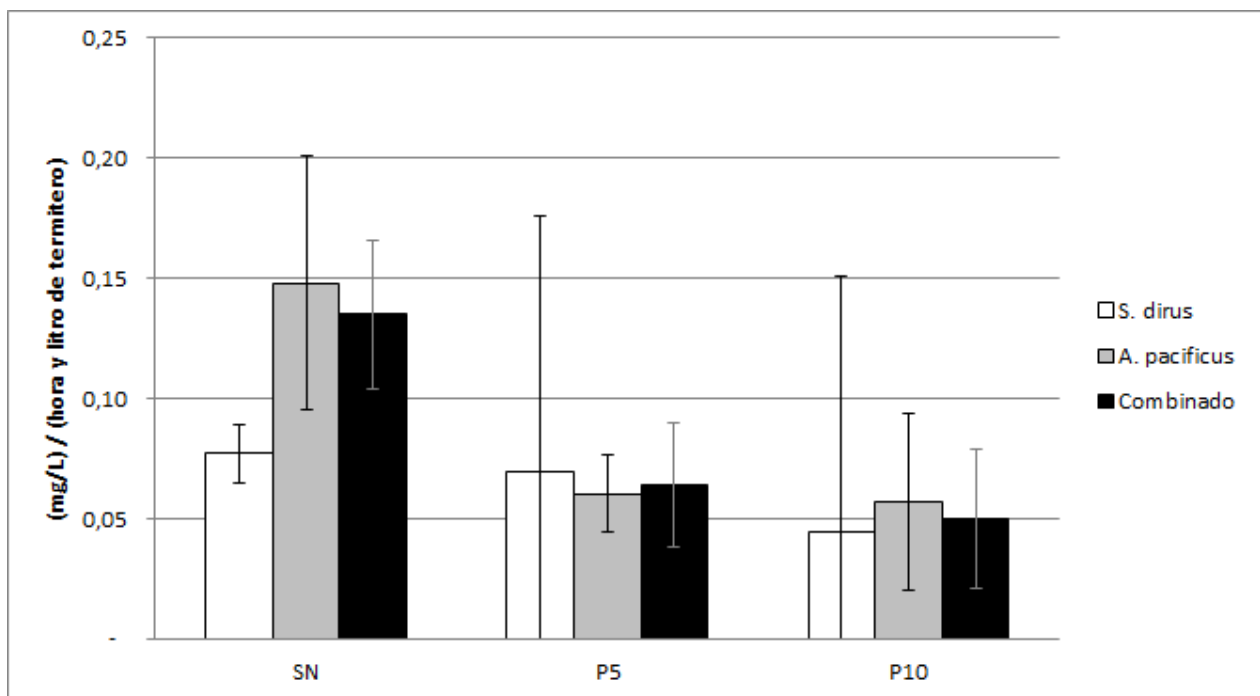


Figura 9. Emisiones diarias de los termiteros en las coberturas. Incluida desviación estándar.

Cobertura	Emisiones de termiteros (g/ha*día)		
	<i>Syntermes dirus</i>	<i>Anoplotermes pacificus</i>	Total
SN	0,13	0,07	0,2
P5	0,07	0,05	0,12
P10	0,2	0,15	0,35

Tabla 4. Emisiones diarias de los termiteros por hectárea en las coberturas.

4. DISCUSIÓN

4.1 Ocurrencia de las especies y densidades de termiteros

Se evidencia una dominancia de *Anoplotermes pacificus* en un 62% en la cobertura de P5 y una dominancia de *Syntermes dirus* de un 66% en SN y un 56% en la cobertura de P10. Esto indica una preferencia de ecosistemas transformados por poco tiempo para las *Syntermes dirus*, una preferencia de *Anoplotermes pacificus* para los ecosistemas transformados por un tiempo medio y una preferencia de ecosistemas transformados por mucho tiempo las *Syntermes dirus*.

Ambas especies tienen en común ser termitas “superiores” por pertenecer a la familia Termitidae, así que producen su propia enzima celulasa (Inoue *et al.* 1997). No obstante, sus dietas no son iguales, ya que *Anoplotermes pacificus* prefiere alimentarse de humus, mientras que *Syntermes dirus* guarda preferencia por el césped y la hojarasca. Se ha descrito que es muy frecuente encontrar a *Anoplotermes pacificus* en sabanas como los Cerrados, así como es común hallar *Syntermes dirus* en pasturas, coincidiendo con este estudio (Carrizo *et al.* 2009). No obstante, algunos autores han descrito a la especie *Anoplotermes pacificus* como oportunista y a la especie *Syntermes dirus* como preferente de los ecosistemas con un grado de transformación menor, lo cual es un punto en común con este estudio, puesto que *Anoplotermes pacificus* era más común en P5, mientras que SN y P10 poseían una dominancia de *Syntermes dirus* (Fragoso *et al.* 1999, Jones *et al.* 2003).

Se puede apreciar una abundancia y una densidad de termiteros menor en la cobertura de

P5 y enorme en P10 (casi 5 veces más termiteros por unidad de área). Ni en la cobertura de SN ni P10 se evidenció una alteración del número de termiteros presentes, ya que sus suelos no eran alterados ni manipulados con frecuencia. No obstante, en el P5, donde se halló una densidad menor, se confirmó que estos suelos eran arados con tractor con mucha frecuencia, lo que suponía una destrucción sistemática de los termiteros. En las coberturas de SN se hallaban pastos de gran altura, lo que en algunas ocasiones dificultaba sus hallazgos, situación opuesta en las coberturas de P10, donde se encontraban fácilmente los termiteros sin tener que recorrer grandes distancias. Es posible que las termitas en las sabanas naturales se encontraran con una mayor competencia de espacio con otros insectos y que las características del suelo no las favorecieran, mientras que las propiedades del potrero de 10 años pudieron ayudar a la formación de más nidos (Lobry de Bruyn & Conacher 1990).

4.2 Volumen de los termiteros

Se encuentra un volumen de termiteros mayor en la cobertura de P5, seguido de P10 y SN. Los termiteros más voluminosos pertenecen a la especie *Syntermes dirus* en todas las coberturas, con la diferencia más grande en P5, casi duplicando el volumen promedio de los termiteros de la especie *Anoplotermes pacificus*. Resulta muy interesante que los termiteros de la cobertura más arada y manipulada por los hombres sean los más grandes. Los termiteros más grandes emanan una cantidad mayor de metano, puesto que albergan una colonia más numerosa. Si bien no son tan abundantes como los de la cobertura de P10, los termiteros de P5 son más grandes y se recuperan más rápidamente que los efectos de arado y cultivo de pastos. Según algunos estudios, no es frecuente que los termiteros de *Anoplotermes pacificus* sean más voluminosos que los de *Syntermes dirus*, ya que estos últimos generalmente construyen nidos con un mayor crecimiento horizontal (Sleaford *et al.* 1996, Donovan *et al.* 2001). Como se ha mencionado anteriormente, es posible que las características del suelo y la abundancia de pastos, favorezcan a *Syntermes dirus*, para tener una densidad mayor y una capacidad de construir nidos más rápidamente y más voluminosos.

Se puede notar que el volumen de termiteros por hectárea de P10 aumenta enormemente cuando se toma en consideración la densidad. Ahora, los volúmenes por hectárea en la cobertura de P10 son superiores en más del doble que la suma de los volúmenes con densidad de P5 y SN. Una densidad mayor representa una aglomeración superior en un área más pequeña, así que es más fácil hallar termiteros en P10 recorriendo una distancia menor. La especie con mayor volumen continúa siendo *Syntermes dirus* en las tres coberturas estudiadas. Como se ha mencionado antes, los termiteros de *Syntermes dirus* suelen tener un diámetro y una construcción horizontal mayor (de Negret & Redford 1982).

4.3 Emisión de los termiteros

Las emisiones por la mañana son mayores que en la tarde o en la noche, especialmente en la cobertura de SN y con la especie *Anoplotermes pacificus*. Las emisiones de la tarde están en segundo lugar, y las menores emisiones corresponden a las de la noche. Las emisiones de *Anoplotermes pacificus* son las mayores en cada etapa del día y en cada cobertura. Algunas investigaciones han propuesto que las termitas se resguardan del calor de la mañana en sus termiteros, aumentando la cantidad de metano que emiten, y luego esperan a que la temperatura del ambiente disminuya para salir del nido y buscar alimento. Al hacer esto, las termitas se repliegan y emiten menos metano en sus termiteros (Sánchez 2011, Gathorne-Hardy *et al.* 2001). Las emisiones también podrían variar por la estacionalidad, dependiendo si se está en la época de sequía o en la época de lluvia (época de este estudio, en agosto) de los Llanos Orientales. Las mayores emisiones se presentan en las épocas secas (Jamali *et al.* 2011a).

La cobertura de SN sigue teniendo la mayor emisión diaria de las coberturas, con la especie *Anoplotermes pacificus*, característica en común con P10, pero dispar con P5, cobertura que tiene a la especie *Syntermes dirus* con una emisión ligeramente mayor a la de *Anoplotermes pacificus*.

Diariamente, P10 es la cobertura con mayor emisión de metano seguido por la SN y P5. En todas las coberturas, la especie *Syntermes dirus* fue la que más emisión presentaba, posiblemente porque las condiciones naturales les favorecían y la abundancia de alimento era la ideal para esta especie.

Cada día, la cobertura de P10 emana 0,35 gramos de metano por hectárea, mientras que SN 0,2 gramos y P5 0,12 gramos. Comparando, en el parque Natural Howard Springs, Australia, unas 11 especies de termitas emitieron al año 8 kilogramos de CO₂ equivalentes por hectárea al año, es decir, 0,35 kilogramos de metano por hectárea al año. En promedio, las termitas de Australia emitían 0,95 gramos de metano por hectárea al día. La diferencia de emisiones entre esta investigación y la de Australia pudieron haber cambiado por factores como la época del año (diciembre a junio en Australia; solamente agosto en Puerto Guadalupe), tipos de termitas (terrestres, subterráneas y arbóreas en Australia; solamente terrestres en Puerto Guadalupe) y el uso de distintos métodos de muestreo (usaron contenedores de policloruro de vinilo en Australia; tanques de polietileno en Puerto Guadalupe) (Jamali *et al.* 2011b).

Comparando con el estudio de Sánchez (2011), las emisiones de termitas en su investigación darían como resultado una emisión diez mil veces mayor, haciendo imposible contrastar ambos resultados.

4.4 Limitaciones del estudio

El estudio solamente se realizó en la época de lluvias, limitando el conocimiento estacional de las emisiones. Las canecas podrían no ser completamente herméticas, así como el medidor de metano podría no dar lecturas exactas para las emisiones de metano. Las distancias entre termiteros se obtuvieron calculando los pasos, no obstante, una herramienta para medir distancia como un odómetro habría sido mucho más preciso.

Las constantes lluvias en el área dificultaron los muestreos. La fase de campo del estudio

fue durante todo agosto, período elegido por cuestiones prácticas debido al tiempo disponible y por la facilidad en ese tiempo de adquirir hospedaje gracias a los anfitriones. El departamento del Meta tiene un patrón de lluvias con dos estaciones de mayor precipitación, primero de abril a junio y luego de agosto a noviembre (Escobar 2001). Debido a que las interacciones y las emisiones de las termitas podrían verse afectadas por la precipitación, se podría ampliar el conocimiento de este tema realizando muestreos y mediciones durante las épocas de sequía y durante las épocas de lluvia. Otra dificultad fue la de los trayectos entre las coberturas y la distancia entre los termiteros para muestrear. Debido a la carencia de transportes vehiculares, fue necesario el transporte a pie de ida y vuelta a coberturas tan lejanas como uno, dos, seis, ocho y diez kilómetros. Aunque, en algunas ocasiones, fue posible hacer uso de una bicicleta de una calidad estándar, también se contrató a un muchacho para cooperar en la movilización en motocicleta por los sitios de muestreo, con todas las dificultades y limitantes que esto implica. Si el investigador hiciera uso de su propio automóvil y/o motocicleta, el número de coberturas y termiteros muestreados podría aumentar y así brindar una mayor solidez a la investigación. En esta investigación solamente se evaluaron las emisiones de metano de las termitas, por lo que, si se evaluaran otros gases, como el hidrógeno y el dihidrógeno, se podría aumentar el conocimiento de los posibles efectos de estos animales sobre el cambio climático (Sugimoto *et al.* 1998).

5. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran que los grados de transformación de las sabanas pueden afectar y alterar las interacciones ecológicas de las termitas, modificando sus ocurrencias de especies, sus densidades, sus volúmenes y sus emisiones de metano. Una densidad mayor de termiteros puede dar lugar a un mayor volumen por hectárea y a mayores emisiones de metano, no obstante, las termitas también cumplen con labores importantes en los ecosistemas, como la formación del suelo y la descomposición de materia vegetal, aumentando la fertilidad de la tierra. Las coberturas con un mayor grado

de transformación poseían una mayor densidad de los termiteros, emitiendo más metano, siempre y cuando estos terrenos no fueran arados ni tratados con tractores de una manera reiterada.

La cobertura de P10 emana unos 0,35 gramos de metano por hectárea al día, mientras que SN 0,2 gramos y P5 0,12 gramos. Contrastando, en el parque Natural Howard Springs, Australia, unas 11 especies de termitas emitieron un promedio de 0,95 gramos de metano por hectárea al día. Las diferencias de las emisiones pudieron deberse a diversos factores, no obstante, esta investigación constituye una herramienta útil para trazar una línea comparativa entre varios estudios para reducir la incertidumbre con la que trabaja con los gases de efecto invernadero de las termitas (Jamali *et al.* 2011b).

Las densidades y especies de los termiteros pueden variar mucho entre coberturas ya que las termitas responden a muchos factores distintos para aparecer en diferentes áreas. Este estudio discrepó en algunos aspectos con investigaciones realizadas, sean investigaciones a gran escala (Sleaford *et al.* 1996) o investigaciones a pequeña escala (Sánchez 2011). Estas diferencias y discrepancias confirman el grado de incertidumbre con el que se trabaja cuando se involucran insectos y emanaciones de gases de efecto invernadero, lo que significa que investigaciones como estas deben hacerse a un ritmo cada vez mayor para tener un conocimiento más sólido y mejor fundamentado del cambio climático y de las interacciones ecológicas de los insectos.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda muestrear las emisiones de las termitas durante la temporada seca y la temporada de lluvias para evaluar la diferencia de las emanaciones de metano. Si se calculan otros gases emitidos por las termitas, como el hidrógeno y el dihidrógeno, aumentaría la información del impacto y la influencia que tienen las termitas en el cambio climático. Si se determina la edad de transformación y características de los suelos con

análisis edafológicos, se tendrá una mayor certeza sobre el estado de transformación del suelo y de qué factores influyen en que haya diferentes especies de termitas en distintas zonas. Comparar las emisiones de metano de termitas con las emanaciones del ganado confrontaría el impacto del cambio climático que tienen estos dos grupos de animales. Se podrían usar otras metodologías y herramientas más elaboradas y específicas para medir las emisiones de gases para obtener datos más precisos, sin olvidar que se deben tomar en consideración otras variables que podrían influir en la emisión de metano. No hay duda que la investigación obtendría una fuerza mayor con un área de estudio más extensa y con un número de replicaciones más elevado.

AGRADECIMIENTOS

Mil gracias a mis padres, Juliana Calle y Eudoro Echeverri por siempre haberme brindado su amor y apoyo y por ser los mejores padres que alguien pudiera desear; a Pablo Echeverri, mi hermano, y a toda mi familia, por darme tantas alegrías y enseñarme tanto; a Andrés Etter, mi tutor, por su ayuda, paciencia y guianza en este proceso y a todos mis docentes; a Angélica Tarquino, Kristian Rubiano, Felipe Umaña, Melisa Franco, Daniel Navas, Felipe Ladino y a todos mis amigos y compañeros por alegrarme mis días y brindarme experiencias maravillosas; a Juan Pablo Pareja y a su hermana Carolina, por su increíble ayuda material y anímica en Puerto Guadalupe, sin olvidar a Lorena Sánchez, por sus recomendaciones y a Carlos, Manuel, Juan David, y todas las amables personas del Llano que siempre me asistieron en lo que necesitaba. Sin ustedes, esto no habría sido posible.

LITERATURA CITADA

ABE, T., BIGNELL, D. E., & HIGASHI, M. (2000). Termites: Evolution, Sociality, Symbioses. *Ecology*, 466.

AMÉZQUITA, E. (1998). Hacia la sostenibilidad de los suelos en los Llanos Orientales de Colombia. In *Noveno Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo*.

Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Paipa, Boyacá (Colombia), octubre (Vol. 21).

BIGNELL, D. E., EGGLETON, P., NUNES, L., & THOMAS, K. L. (1997). Termites as mediators of carbon fluxes in tropical forest: budgets for carbon dioxide and methane emissions. *Forests and insects*, 109-134.

CALDWELL, M. M., BORNMAN, J. F., BALLARÉ, C. L., FLINT, S. D., & KULANDAIVELU, G. (2007). Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation, and interactions with other climate change factors. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 6(3), 252-266.

CARMONA, J., BOLÍVAR, D., & GIRALDO, L. (2009). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49-63.

CARRIJO, T. F., BRANDÃO, D., DE OLIVEIRA, D. E., COSTA, D. A., & SANTOS, T. (2009). Effects of pasture implantation on the termite (Isoptera) fauna in the Central Brazilian Savanna (Cerrado). *Journal of insect conservation*, 13(6), 575-581.

CHAPIN III, F. S., ZAVALA, E. S., EVINER, V. T., NAYLOR, R. L., VITOUSEK, P. M., REYNOLDS, H. L., & DÍAZ, S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405(6783), 234-242.

DANE Departamento Administrativo Nacional de Estadística (1995). Proyecciones quinquenales de población por sexo y edad 1950-2050 Series de Estudios Censales No. 1 Dane. *Bogotá DC*.

DE NEGRET, H., & REDFORD, H. (1982). The biology of nine termite species (Isoptera: Termitidae) from the cerrado of Central Brazil. *Psyche*, 89(1-2), 81-106.

DEZZEO, N., FLOREZ, S., ZAMBRANO-MARTÍNEZ, S., RODGERS, L., & OCHOA, E. (2008). Estructura y composición florística de bosques secos y sabanas en los Llanos Orientales del Orinoco, Venezuela. *Interciencia*, 33(10), 733-740.

DONOVAN, S. E., EGGLETON, P., & BIGNELL, D. E. (2001). Gut content analysis and a new feeding group classification of termites. *Ecological Entomology*, 26(4), 356-366.

DUFFY, J. E., CARDINALE, B. J., FRANCE, K. E., MCINTYRE, P. B., THÉBAULT, E., & LOREAU, M. (2007). The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity. *Ecology Letters*, 10(6), 522-538.

ESCOBAR, G. (2001). *Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia* (No. 322). G. Rippstein, & F. M. Motta (Eds.). *Ciat*.

ETTER, A., MCALPINE, C., WILSON, K., PHINN, S., & POSSINGHAM, H. (2006). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, ecosystems & environment*, 114(2), 369-386.

FRAGOSO, C., LAVELLE, P., BLANCHART, E., SENAPATI, B. K., JIMÉNEZ, J. J., MATÍNEZ, A., & TONDOH, J. (1999). Earthworm communities of tropical agroecosystems: origin, structure and influence of management practices.

GATHORNE-HARDY, F., SYAUKANI, & EGGLETON, P. (2001). The effects of altitude and rainfall on the composition of the termites (Isoptera) of the Leuser Ecosystem (Sumatra, Indonesia). *Journal of Tropical Ecology*, 379-393.

INOUE, T., MURASHIMA, K., AZUMA, J. I., SUGIMOTO, A., & SLAYTOR, M. (1997). Cellulose and Xylan Utilisation in the Lower Termite *Reticulitermes speratus*. *Journal of Insect Physiology*, 43(3), 235-242.

JAMALI, H., LIVESLEY, S. J., DAWES, T. Z., COOK, G. D., HUTLEY, L. B., & ARNDT, S. K. (2011a). Diurnal and seasonal variations in CH₄ flux from termite mounds in tropical savannas of the Northern Territory, Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(11), 1471-1479.

JAMALI, H., LIVESLEY, S. J., GROVER, S. P., DAWES, T. Z., HUTLEY, L. B., COOK, G. D., & ARNDT, S. K. (2011b). The importance of termites to the CH₄ balance of a tropical savanna woodland of Northern Australia. *Ecosystems*, 14(5), 698-709.

JAMALI, H., LIVESLEY, S. J., HUTLEY, L. B., & ARNDT, S. K. (2013). Methane emissions from termites-landscape level estimates and methods of measurement. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 15, p. 1223).

JONES, D. T., SUSILO, F. X., BIGNELL, D. E., HARDIWINOTO, S., GILLISON, A. N., & EGGLETON, P. (2003). Termite assemblage collapse along a land-use intensification

gradient in lowland central Sumatra, Indonesia. *Journal of Applied Ecology*, 40(2), 380-391.

LEVY, D. L., & KOLK, A. (2002). Strategic responses to global climate change: Conflicting pressures on multinationals in the oil industry. *Business and Politics*, 4(3), 275-300.

LENNTECH, B. V. Lenntech Water treatment & purification Holding BV. *Chemical Cleaning*.

LOBRY DE BRUYN, L. A., & CONACHER, A. J. (1990). The role of termites and ants in soil modification: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 28(1), 55-93.

MEDINA, U. (2013). Nidificación y patrones de distribución espacial de nidos de hormigas en una sabana tropical, Carimagua: llanos orientales de Colombia. *Universidad del Valle*. Cali, Colombia.

MONTENEGRO, J., ABARCA, S., & CATIE-FAO-SIDE. (2000). Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. *Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales*. *Catie-Fao-Side*. Ed Nuestra Tierra.

MITCHELL, J. F. (1989). The "greenhouse" effect and climate change. *Reviews of Geophysics*, 27(1), 115-139.

MURGUEITIO, R. (1999). Reconversión ambiental y social de la ganadería bovina en Colombia. *Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria - CIPAV*

OLSON, D. M., DINERSTEIN, E., WIKRAMANAYAKE, E. D., BURGESS, N. D., POWELL, G. V. N., UNDERWOOD, E. C., et al. (2001). Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *BioScience*, 51, 933e938.

ROMERO-RUIZ, M. H., FLANTUA, S. G. A., TANSEY, K., & BERRIO, J. C. (2012). Landscape transformations in savannas of northern South America: Land use/cover changes since 1987 in the Llanos Orientales of Colombia. *Applied Geography*, 32(2), 766-776.

SÁNCHEZ, L. (2011). Efecto de la transformación de sabanas a potreros sobre la

emisión de metano generado por termitas (Orinoquía, Colombia). Tesis de pregrado. *Pontificia Universidad Javeriana*. Bogotá, Colombia. 1-24.

SLEAFORD, F., BIGNELL, D. E., & EGGLETON, P. (1996). A pilot analysis of gut contents in termites from the Mbalmayo Forest Reserve, Cameroon. *Ecological Entomology*, 21(3), 279-288.

SPOKAS, K., BOGNER, J., CHANTON, J., MORCET, M., ARAN, C., GRAFF, C., GOLVAN, Y. HEBE, I. (2006). Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems? *Waste Management*, 26(5), 516-525.

SUGIMOTO, A., INOUE, T., TAYASU, I., MILLER, L., TAKEICHI, S., & ABE, T. (1998). Methane and hydrogen production in a termite-symbiont system. *Ecological Research*, 13(2), 241-257.

VARGAS, A. 2004, Termitidae (Insecta: Isoptera) de Colombia: Claves genéricas y distribución geográfica, Tesis de pregrado- Biología. *Pontificia Universidad Javeriana*. Bogotá, Colombia.

VITOUSEK, P. M., MOONEY, H. A., LUBCHENCO, J., & MELILLO, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.

WATSON, R. T., MEIRA FILHO, L. G., SANHUEZA, E., & JANETOS, A. (1992). Greenhouse gases: sources and sinks. *Climate change*, 92, 25-46.