

**PONTIFICA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES  
CARRERA DE ECOLOGÍA**



**EFFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE SABANAS A POTREROS SOBRE LA  
EMISIÓN DE METANO GENERADO POR TERMITAS (ORINOQUÍA, COLOMBIA).**

**POR: LORENA SÁNCHEZ ÁLVAREZ**

**PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO**  
Presentado como requisito para optar el título de ecóloga.

**DIRECTOR: ANDRES ETTER**  
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES  
DEPARTAMENTO ECOLOGÍA Y TERRITORIO  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

**BOGOTÁ, D.C.**

7 de Julio de 2011

**EFFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE SABANAS A POTREROS SOBRE LA EMISIÓN DE METANO GENERADO POR TERMITAS (ORINOQUÍA, COLOMBIA).**

**LORENA SÁNCHEZ ÁLVAREZ**

**APROBADO**

---

Juan David Amaya Espinel  
Profesor Investigador  
Facultad de estudios Ambientales y Rurales  
Pontificia Universidad Javeriana

---

Santiago Bustamante Sanint  
Candidato a Doctor  
En Estudios Ambientales y Rurales  
Facultad de estudios Ambientales y Rurales  
Pontificia Universidad Javeriana

**EFFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE SABANAS A POTREROS SOBRE LA EMISIÓN DE METANO GENERADO POR TERMITAS (ORINOQUÍA, COLOMBIA).**

**LORENA SÁNCHEZ ÁLVAREZ**

**APROBADO**

---

Luis Alberto Villa  
Decano Académico  
Facultad de estudios Ambientales y Rurales  
Pontificia Universidad Javeriana

---

Ángela Amarillo  
Directora de la Carrera de Ecología  
Facultad de estudios Ambientales y Rurales  
Pontificia Universidad Javeriana

## **EFFECTO DE LA TRANSFORMACION DE SABANAS A POTREROS SOBRE LA EMISION DE METANO GENERADO POR TERMITAS (Orinoquía, Colombia).**

Titulo breve: Metano por termitas en sabanas

Lorena Sánchez<sup>1</sup>, Andrés Etter<sup>2</sup>

Número de palabras: 7.265

**Resumen:** Las sabanas de la altillanura plana de la Orinoquia se han visto sometidas en las últimas décadas a la transformación debido a prácticas agrícolas y agropecuarias como la siembra de monocultivos y pastos introducidos para ganadería intensiva y extensiva. Este fenómeno puede llegar a afectar el funcionamiento y comportamiento de organismos como las termitas, éstas son especies susceptibles a la transformación por la perturbación que se da en los suelos causando cambios en sus hábitos y metabolismo, logrando ser especies bio- indicadores de transformación. Las termitas a diferencia de otros insectos tienen la capacidad de digerir celulosa, digestión mediante la cual se produce metano, esta producción se ve alterada por los cambios de cobertura que implican cambios en la composición del suelo y oferta de alimento para las termitas. Este gas al ser liberado es emitido a la atmósfera, contribuyendo así con las concentraciones de gases de efecto invernadero y con el calentamiento global. Este estudio analiza las emisiones de metano generadas por termitas en relación a la densidad y volumen de los termiteros encontrados en las sabanas naturales de la altillanura plana y sabanas con transformaciones hace 5 y 10 años a potreros para ganadería. Los datos indican que los potreros de 10 años son los que presenta mayor densidad de termiteros, debido a la transformación que ha sufrido este ecosistema por la siembra de especies vegetales introducidas cambiando la cobertura vegetal natural y ocasionando cambios en las poblaciones de termitas. Por esta razón los potreros de 10 años son la cobertura con mayores emisiones de metano por hectárea al año, aportando en las concentraciones de gases de efecto invernadero que contribuyen con los cambios climáticos globales.

Palabras clave: Transformación de ecosistemas. Calentamiento global. Emisiones de metano

---

<sup>1</sup>Ecóloga. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Departamento Ecología y Territorio. Transversal 4 N° 42- 00 Piso 8, Colombia,  
Correo electrónico: [sanchez-lorena@javeriana.edu.co](mailto:sanchez-lorena@javeriana.edu.co). Autor para correspondencia

<sup>2</sup>Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Departamento Ecología y Territorio Transversal 4 N° 42- 00 Piso 8, Colombia

**Abstract:** The flat savannas of the altillanura located on the Orinoquia, have undergone on the last decades a landscape transformation due to agricultural and livestock activities, mainly monoculture crops and pastures growth for cattle feeding on extensive and intensive practices. This phenomenon affects the population growth of living organisms such as termites which are considered bio-indicators due to their high sensitivity to soil modifications. The termites as opposed to other insects are capable of cellulose digestion producing methane that serves as a refrigerator to their own nests. This methane is later released to the atmosphere increasing the green house gasses concentration. This study analyses the density, volume and methane emissions of termites nests on flat savannas of the altillanura that have undergone transformations to cattle raising pastures on the last 5 to 10 years. The data collected indicates that savannas that had been transformed to pastures for a longer period of time, in this study for 10 years, have higher density of termites nests due to the change of vegetation that modifies termites population. Consequently pastures of over 10 years have higher methane emissions per hectare in a year, having a major influence on green house gasses concentration and therefore contributing to global warming.

Key Word: Ecosystem Transformation, global warming, methane emission.

---

## 1. Introducción

Los cambios climáticos globales son fenómenos que se dan en parte por el incremento en la temperatura terrestre ocasionado por las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) como CO<sub>2</sub> el (dióxido de carbono), CH<sub>4</sub> (metano), NO<sub>x</sub> (óxido nitroso), O<sub>3</sub> (ozono) y H<sub>2</sub>O (vapor de agua); que se acumulan en la atmósfera impidiendo la salida de la radiación (IPCC 1996). Un 70% de la radiación que entra a la tierra queda atrapada entre superficie terrestre y la atmósfera, siendo reflejada hacia el espacio solo un 30% (Duarte 2006).

Entre los GEI el CO<sub>2</sub> es el gas con mayor concentración en la atmósfera seguido por el CH<sub>4</sub>. Sin embargo, el CH<sub>4</sub> tiene una capacidad calorífica 23 veces mayor que el CO<sub>2</sub>, lo cual hace que tenga un impacto importante en el incremento de la temperatura terrestre (Lal *et al.* 1995).

Las emisiones de GEI son generadas tanto por procesos naturales como por acción humana (Siegenthaler y Sarmiento 1993). El origen natural de las emisiones de CO<sub>2</sub> se debe a la descomposición de materia orgánica, liberación de gases en la actividad volcánica y respiración de organismos aeróbicos, así mismo

el CH<sub>4</sub> es emitido naturalmente por los procesos anaeróbicos en pantanos, metabolismo de termitas y procesos volcánica (Ehhalt and Prather, 2001).

En los últimos 250 años se han incrementado las emisiones de GEI debido al rápido desarrollo económico y crecimiento demográfico, el CO<sub>2</sub> ha incrementado en un 85% por prácticas como la quema de combustibles fósiles y deforestación (IPCC 1996). El CH<sub>4</sub> ha incrementado en un 60% debido a la descomposición de basuras, tratamientos de aguas residuales, procesos industriales, sobrepoblación, implementación de nuevas prácticas agrícolas, agricultura de irrigación y prácticas como la ganadería intensiva y extensiva (Siegenthaler y Sarmiento 1993).

Estas prácticas agropecuarias determinan la transformación del paisaje ocasionando cambios en la cobertura vegetal, erosión en los suelos y pérdida de materia orgánica, incrementando la infertilidad en los suelos (Giller *et al.* 1997; Héctor *et al.* 2001). Estas transformaciones se dan a escala regional y global (Reilly *et al.* 1996).

Los ecosistemas con mayor transformación por siembra de especies introducidas son los que se encuentran en la zona tropical (Duarte 2006), como bosques húmedos (Etter *et al.* 2006) y sabanas (Etter *et al.* 2010). En Colombia los procesos de transformación y cambios de cobertura se dan por la expansión de la frontera agropecuaria (Etter 1998), que en su mayoría son ecosistemas transformados a monocultivo de palma de aceite, caucho (Scharleman y Laurance 2008) y pastos introducidos como *Brachiaria sp* para ganadería intensiva y extensiva (Etter *et al.* 2006) siendo el caso a nivel regional las sabanas que se encuentran en la altillanura plana de la Orinoquia (Etter *et al.* 2010).

Estas sabanas son ecosistemas con alta diversidad por presentar una gran cantidad de especies asociadas a sus condiciones biofísicas (Etter 1997; Sarmiento 1994), así mismo cuentan con el grupo más grande de artrópodos, como son los del orden Isoptera, o comúnmente llamadas termitas (Vargas 2004). Estos organismos tienen una importancia ecológica dentro de los ecosistemas pues son los mayores descomponedores de materia orgánica permitiendo la regeneración y regulación de nutrientes para otras especies de insectos y otros descomponedores (Black y Okwakol 1997). Asimismo facilitan la aireación y circulación de nutrientes en el suelo (Bandeira y Vasconcellos 2004).

Las termitas cuentan con un metabolismo diferente al de otros insectos que les permite procesar la celulosa, proceso mediante el cual se produce el metano (Constantino 1992), la celulosa puede ser procesada por las termitas gracias a las bacterias y protozoos metanotrofos que se encuentran en diferentes

partes del intestino, estos organismos son realmente los encargados de digerir la celulosa y generar energía para las termitas (Friedrich *et al.* 2001).

Así mismo las termitas son especies susceptibles a la perturbación de los suelos, lo que les permite ser bioindicadoras de transformación en los ecosistemas, presentando variaciones en sus comportamientos (Wood y Sands 1978; Bignell y Eggleton 2000). Las especies de termitas más sensibles a la perturbación del suelo son las especies forrajeras (Bandeira *et al.* 2003; De Souza y Brown 1994) siendo a su vez las que presentan mayores emisiones de metano a la atmósfera (Jones *et al.* 2003), y que en su mayoría están asociadas a ecosistemas de sabana (Pullan 1979). Jamali *et al.* (2010) estima que las termitas contribuir entre 5 y 19% con las emisiones de metano a la atmósfera.

Las emisiones de metano generadas por las termitas dependen de la temperatura, humedad en el ambiente y estacionalidad climática (Jamali *et al.* 2010). Howick *et al.* (1975) estima que las termitas incrementan su actividad metabólica dentro del termitero 25 a 35% cuando se incrementa la temperatura ambiente de 26 a 32 °C en determinada época del año.

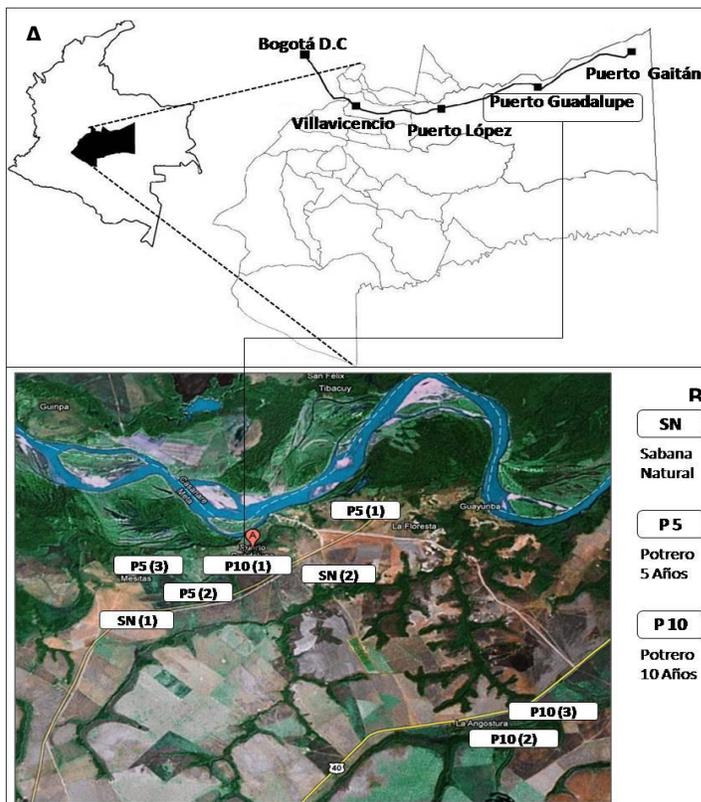
Estudios realizados en Brasil, Australia e Indonesia, han analizado el efecto del cambio de cobertura vegetal sobre el rol que juegan las termitas en los ecosistemas (Dibog *et al.* 1999; Davies *et al.* 2003; Melo y Bandeira 2004) y sus emisiones de metano (Jamali *et al.* 2010). En Colombia aun no se han realizado este tipo de estudios, sin embargo, en la región de los Llanos Orientales se está viendo una transformación a gran velocidad con la implementación de pasturas y cultivos en reemplazo de sabanas, permitiendo evidenciar cambios en el comportamiento de las termitas (Constantino 1992; Bignell y Eggleton 2000)

Esta investigación analiza los cambios en las emisiones de metano generadas por las termitas y su relación con la densidad y volumen de los termiteros en sabana naturales transformadas a potreros por la siembra de especies introducidas como *Brachiaria sp* en la altillanura de la Orinoquia Colombiana. El estudio se realizó en sabanas naturales y en potreros de 5 y 10 años de antigüedad, durante la época final de lluvias del 2010.

## **2. Área de Estudio**

El área de estudio se ubica en el oriente del departamento del meta en jurisdicción del municipio de Puerto Guadalupe que se encuentran entre los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, en ecosistemas de sabanas de la altillanura plana (Fig. 1A). La zona se encuentra con una altitud entre 200 y 400 msnm,

temperatura media de 28 °C, humedad relativa que varía entre 60 y 90%, precipitación anual de 2200 mm y una evapotranspiración de 1300 mm (Etter 1995), con épocas secas entre los meses de diciembre y marzo, seguida de una época de lluvias bimodal, con periodos secos de 1 a 2 semanas entre los meses de julio a agosto, siendo abril el inicio de lluvias y noviembre el final (Hoyos *et al.* 1999).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio. **A)** Ubicación de Puerto Guadalupe ubicado en la Orinoquia Colombiana en donde se realizaron los diferentes muestreos. **B)** Localización de los sitios de muestreo donde se realizaron las diferentes pruebas para la investigación.

La extensión aproximada de las sabanas en Colombia es de 18 millones de hectáreas, de las cuales las sabanas de la Orinoquia ocupan aproximadamente un 80% (Etter 1998). En la Orinoquia se puede encontrar dos unidades fisiográficas principales divididas por el Río Meta: el piedemonte andino hacia el norte, y la altillanura hacia el sur. En esta última, se encuentran las sabanas de la altillanura plana, ocupando una extensión de 3.4 millones de hectáreas aproximadamente (Cochrane y Sánchez 1981; Romero *et al.* 2010).

Las sabanas de la altillanura pueden, en términos generales dividirse en 3 tipos: la altillanura plana donde se realizó el estudio, la altillanura inundable y la altillanura arenosa. Por sus condiciones de ubicación y suelos la altillanura plana es la que presenta un mayor nivel de transformación, en especial en el tramo de Puerto López a Puerto Gaitán (Sarmiento 1994; Etter *et al.* 2010).

La mayoría de las transformaciones y cambios de cobertura que se presentan en este ecosistema se dan por la creciente presencia de asentamientos humanos, construcción de nuevas infraestructuras para el desarrollo tecnológico, extracción de recursos a gran escala y actividades agrícolas e industriales tales como monocultivos, siembra de pastos para ganadería, deforestación, desviación y represamiento de ríos, entre otras (Etter 1995). Debido a las transformaciones se encuentran 2.5 millones de hectáreas sembradas con pastos introducidos, 180.000 hectáreas transformadas a cultivos y 120.000 hectáreas en plantaciones de palma de aceite y madera (Romero *et al.* 2010).

En el bioma de sabanas de la Orinoquia se encuentra una gran cantidad de especies vegetales como animales propias de la región (Etter 1995). Se han reportado 2.126 especies de plantas pertenecientes a 807 géneros y 180 familias, las más representativas son las familias *Rubiaceae* con 705 especies, leguminosas con 255, *Poaceae* con 214 y *Cyperaceae* con 96 (Rangel 1989). Las sabanas de la altillanura plana de la Orinoquia también cuentan con 119 especies de reptiles, equivalentes a un 25% del total en el país (Etter 1997). Estas especies se están viendo afectadas por la transformación y sobreexplotación de estos ecosistemas (Etter 1995).

### 3. Materiales y Métodos

#### 3.1 Descripción de Sitios de Muestreo

El estudio se realizó en 3 coberturas vegetales, sabanas naturales (**SN**) y transformadas a potreros por la siembra de pastos introducidos hace 5 años y 10 años (**P10**), (**P5**) con replicas de una muestra de 2 ,3 y 3 respectivamente, dando un total de 8 sitios de muestreo (Fig. 1B). Éstos fueron ubicados inicialmente mediante una imagen satelital (© Google Earth-Imagen2010 DigitalGlobe, GeoEye ), en la que se realizó un reconocimiento previo de las diferentes coberturas. Posteriormente se realizó la comprobación en campo apoyada en entrevistas con los dueños de las fincas, acerca de la especie de pasto sembrado, ultimo año en el que se sembró y el manejo que se dio para la siembra.

En cada uno de los 8 sitios de muestreo se aplicaron 4 mediciones para determinar la influencia de la transformación de sabanas en las emisiones de metano de las termitas, éstas son: 1) Densidad de los termiteros, 2) Volumen de los termiteros, 3) Emisiones de metano de los termiteros, 4) Otras muestras compuestas por 4.1) Temperatura ambiente, 4.2) Especies vegetales y 4.3) Especies de termitas.

### 3.2 Trabajo de Campo

#### 3.2.1 Densidad de Termiteros

La densidad de termiteros para cada uno de los 8 sitios de muestreo se obtuvo por medio de la ecuación 1 que indica la cantidad de termiteros presentes en 1 hectárea, usando las medidas de distancia de un individuo a su vecino más cercano en un transecto ubicado al azar en el área de mayor presencia de termiteros. El transecto cuenta con un área de 0.1 hectárea ya que presenta 200 mts de largo x 5 mts de ancho, las medidas se tomaron desde el primer individuo encontrado en el transecto hasta el último en esta área.

$$D = (100 / d)^2 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

En donde:

**D**= Densidad por hectárea

**d**= distancia promedio entre termiteros

#### 3.2.2 Volumen Termiteros

Para determinar el volumen de los termiteros muestreados se tomaron las medidas de **h** (altura) y **d** (diámetro) de todos los termiteros presentes en los transectos. El cálculo del volumen para cada uno de los termiteros (**v**) presentes en el transecto se realizó promediando los datos de volumen cónico y volumen cilíndrico (Fig. 2). Esto con el fin de obtener el valor del volumen más cercano a la forma de la estructura aérea del termitero. Para el cálculo se aplicó la siguiente ecuación.

$$v = \left[ \left( \pi (d/2)^2 * h/3 \right) + \left( \pi (d/2)^2 * h \right) / 2 \right] \quad \text{(Ecuación 2)}$$

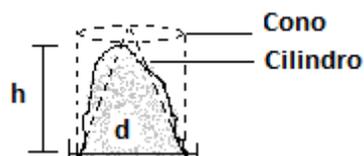


Figura 2. Medidas tomadas para cada termitero, (h) altura y (d) diámetro

Posteriormente el dato de volumen se pasó a litros (L) para manejar los datos en L por hectárea. Para obtener el volumen de termiteros por hectárea para cada cobertura, se calculó la siguiente ecuación.

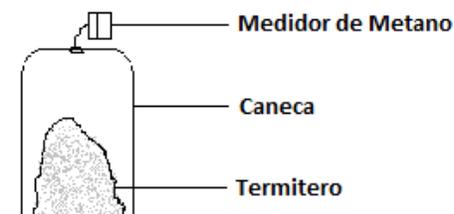
$$V_{ci} = P_{v_{ci}} * D \quad \text{(Ecuación 3)}$$

En donde

$V_{ci}$  = volumen de termiteros por hectárea en la cobertura  $i$   
 $P_{v_{ci}}$  = promedio del volumen de termiteros en la cobertura  $i$   
 $D$  = Densidad por hectárea

### 3.2.3 Emisiones de Metano

Para medir las emisiones de metano, se utilizó un dispositivo especializado en detección de metano (GPT 100 detector de gas CH<sub>4</sub>) insertado en una caneca de 70 litros puesta boca abajo sobre el termitero. Las mediciones de la concentración de metano se midieron a través de un orificio con un tapón hermético, ubicado en la base de la caneca. Así mismo, al rededor de los termiteros, se construyó una micro zanja en forma circular para dejar el termitero completamente encerrado (Fig. 3).



**Figura 3.** Caneca sobre termitero para medir las concentraciones de metano

Para determinar las condiciones en la toma de datos, se realizó una fase preliminar en la que se escogieron tres termiteros al azar. Las lecturas de concentración de metano se tomaron durante períodos de 1 hora, 2 horas, 3 horas hasta las 12 horas día (6:00 am a 6:00 pm), la caneca se quitó durante cada medición. Para conocer las concentraciones de emisión en la noche, se dejó la caneca durante las 12 horas de la noche (6:00 pm a 6:00 am).

Estas lecturas arrojaron tres rangos en los que se decidió tomar las muestras para la investigación, la primera medición se realizó de 6 am a 12m, la segunda de 12m a 6 pm y la tercera de 6 pm a 6 am. Una

vez terminada la fase preliminar, se escogieron los 3 termiteros de tamaño promedio para medir las concentraciones de metano en cada uno de los 8 sitios de muestro.

Para poder realizar comparaciones y establecer las emisiones de un litro de termiteros en una hora en la mañana, tarde y noche ( $E_k$ ) se realizo la siguiente ecuación. Para estas mediciones se quitaron los valores de la primeras replica de **P10** ya que en este día de muestreo llovió constantemente, por lo tanto fue la muestra atípica a las demás

$$E_k = (V_c - v) * \left( \frac{Le}{K} \right) \quad \text{(Ecuación 4)}$$

En donde

$V_c$ = volumen caneca

$v$ = volumen termitero

$Le$  = lectura de ppm de metano

$k$  = horas de muestro de 6 a 12 (6 horas), 12 a 6(6 horas) y de 6 a 6 (12 horas)

Para determinar las emisiones diarias por litro de termitero para cada cobertura ( $E_{ci}$ ), se realizó el siguiente cálculo.

$$E_{ci} = (E_{k_1} * k) + (E_{k_2} * k) + (E_{k_3} * k) \quad \text{(Ecuación 5)}$$

En donde

$E_{k_1}$ = emisión total de 6am a 12m

$E_{k_2}$ = emisión total de 12m a 6pm

$E_{k_3}$ = emisión total de 6pm a 6am

$k$  = horas de muestro de 6 a 12 (6 horas), 12 a 6(6 horas) y de 6 a 6 (12 horas)

Para conocer las emisión en gramos por el total de litros presentes en una hectárea al día ( $E_{t_{ci}}$ ) se realizo la siguiente formula

$$E_{t_{ci}} = (E_{ci} * V_{t_{ci}}) 1000 \quad \text{(Ecuación 6)}$$

En donde

$E_{ci}$  = emisión diaria de metano por litro de termitero por cobertura

$V_{t_{ci}}$ = volumen total del termiteros por cobertura

Estos datos fueron llevados a emisión en kilogramos por año al multiplicarse  $E_{t_i}$  por 350 (días al año) y dividirse en 1000 (para llegar a unidades de g a Kg)

### **3.2.4 Otras Observaciones**

Durante la fase de campo se recogieron 3 tipos de muestras que permiten explicar las posibles diferencias de emisiones de metano en las tres coberturas: 1) toma de temperatura ambiente durante cada lectura de metano; 2) datos de las especies vegetales encontradas por tipo de coberturas. Éstas se identificaron por medio del nombre común en región confirmado después con literatura 3) identificación de especies de termitas por cobertura. Se colectaron tanto soldados como obreras en los tres termiteros escogidos por cobertura, y los individuos fueron reconocidos posteriormente en laboratorio por medio de la guía de especies de termitas en Colombia, de Vargas (2004).

### **3.3 Análisis Estadístico**

Para los datos de densidad, volumen y las emisiones de metano por cobertura, se realizaron pruebas estadísticas de normalidad con el fin de determinar la aplicación de pruebas paramétricas o no paramétricas. En todos los casos se reportó no normalidad en los datos por lo tanto se aplicó la prueba de Kruskal Wallis para conocer el nivel de diferencias entre las muestras, prueba que arrojó en todos los casos diferencias significativas. Por tal motivo se aplicó la prueba de Wilcoxon, que permite realizar comparaciones entre parejas de datos para conocer cuál de las coberturas se comporta de forma diferente en las mediciones aplicadas. Así mismo se aplicaron correlaciones entre las diferentes variables para establecer si hay relaciones directamente proporcionales o si hay cambios independientes entre estas.

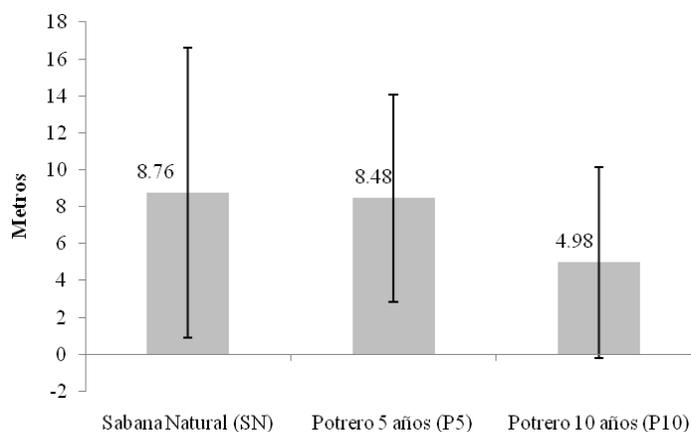
## **4. Resultados**

### **4.1 Densidades de Termiteros**

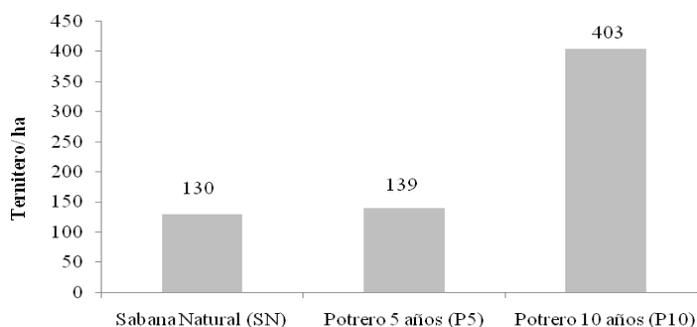
Se observa que hay una diferencia marcada en los datos de la densidad por hectárea en la cobertura **P10**. Esta cobertura presenta una distancia promedio entre termiteros más pequeña que **P5** y **SN** (Fig.4), lo que demuestra que en **P10** se encuentran termiteros más seguidos, incrementando así la densidad por área. Las barras de error (Fig. 4) muestran un comportamiento de distribución agregada ya que la desviación estándar es casi igual a la distancia entre los termiteros.

Los datos de distancia al ser pasados a densidad por hectárea, demostrando que la densidad es mayor en **P10** que en **P5** y **SN**, teniendo **P10** un valor de 403 termiteros por hectárea 3 veces mayor que las otras

dos coberturas. **P5** y **SN**, se comportan de forma similar al manejar distancias aproximadamente de 8.5 metros y densidades de 130 (Fig. 5).



**Figura 4.** Distancia Promedio entre termiteros por cobertura



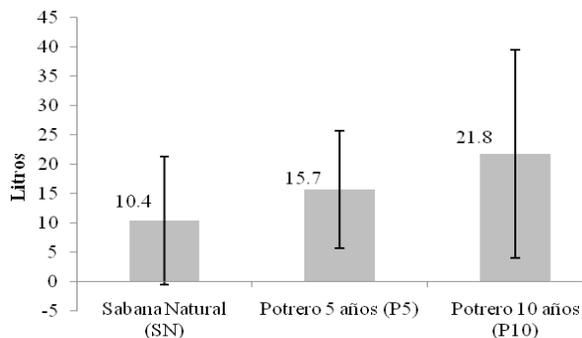
**Figura 5.** Densidad de termiteros por hectárea por cobertura

El análisis estadístico aplicado a la variable de densidad con los datos de distancias entre los termiteros comprobó que los datos no se comportan de forma normal por lo tanto al aplicar la prueba para datos no paramétricos se encontró un  $P= 3,67e-06$ , demostrando así que, el comportamiento de densidades de las coberturas es diferente. Wilcoxon, arrojó un resultado de  $P=0.5549$  entre **SN** y **P5**, uno de  $P= 0.0010$  entre **SN** y **P10**, y uno de  $P= 5.03 e-06$  entre **P5** y **P10**, demostrando que hay similitud entre la cobertura **SN** y **P5** siendo la cobertura **P10** la que se comporta de forma diferente en cuanto a la densidad de sus termiteros.

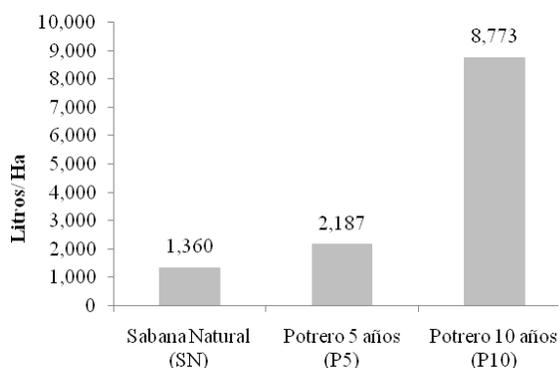
#### 4.2 Volumen de Termiteros

Con los datos de volumen se calculó el tamaño promedio de un termitero por tipo de cobertura siendo **SN** la cobertura que presenta el valor más pequeño que las otras dos coberturas, seguida por **P5**, siendo **P10** la

cobertura que presenta un promedio de volumen más alto (Fig. 6). Así mismo éste dato al multiplicarse por la densidad por tipo de cobertura, arrojan un mayor volumen por hectárea en la cobertura **P10** siendo tres veces mayor que **SN** y dos veces mayor que **P5** (Fig. 7).



**Figura 6.** Volumen promedio de un termitero por cobertura



**Figura 7.** Volumen total de los termiteros presentes en 1 hectárea por cobertura

Las pruebas estadísticas se aplicaron para el grupo de datos de litros de termitero por cobertura, demuestran no normalidad en los datos, por lo tanto la prueba para datos no paramétricos arroja un  $P=1.71 \times 10^{-5}$  que confirma las diferencias entre las tres coberturas. Así mismo Wilcoxon, demostró diferencias entre **SN** y **P10** con un  $P=0.0057$ , entre **SN** y **P5** un  $P=5.803 \times 10^{-6}$  y entre **P5** y **P10** un  $P=0.0357$ , evidenciando así una diferencia significativa en los volúmenes de las tres coberturas.

#### 4.3 Emisiones de Metano

Se puede observar que los niveles de metano emitidos durante una hora por un litro de termitero se comportan de forma similar para las tres coberturas, siendo la lectura de la mañana que va de 6 am a 12 m la más alta, seguidas por las lecturas de la tarde de 12 m a 6 pm, siendo las 12 horas nocturnas de 6 pm a 6

am las de menor concentración de metano, así mismo la sumatoria de las emisiones durante el día presentan mayores niveles en **SN** y **P5** en comparación a los niveles de **P10** (Tabla. 1)

**Tabla 1.** Emisiones de metano en (mg) por 1 litro de termitero para las horas de muestreo, Mañana (6:00 am-12:00m), Tarde (12:00m -6:00 pm), Noche (6:00 pm- 6:00am) y total al día para cada tipo de cobertura

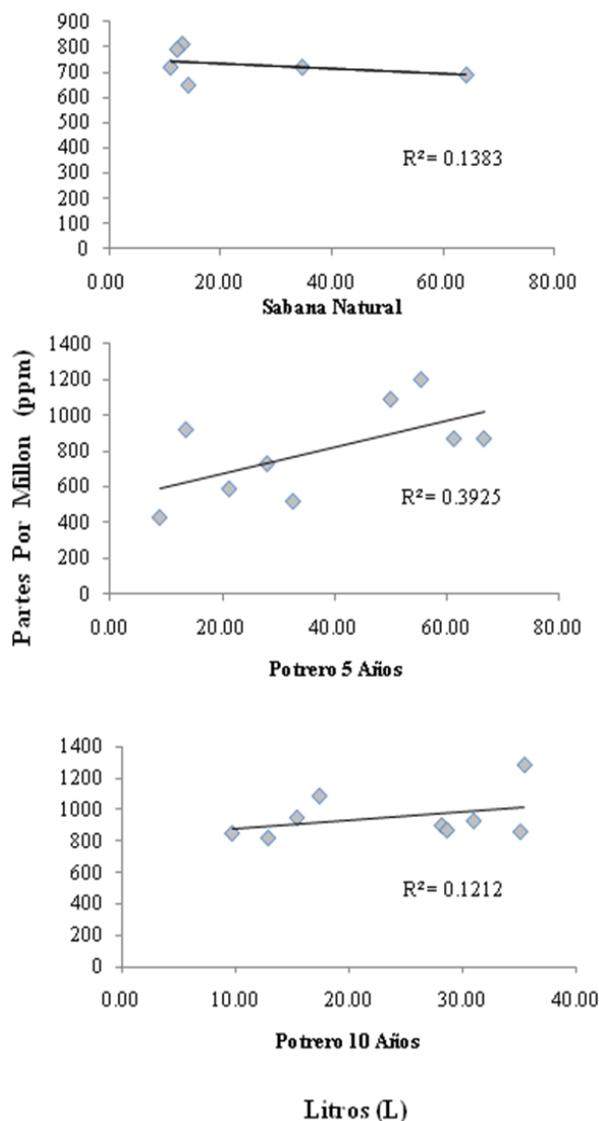
	<b>Emisión Mañana</b>	<b>Emisión Tarde</b>	<b>Emisión Noche</b>	<b>Emisión Día</b>
<b>Sabana Natural</b>	132.4	110.5	78.3	2,396.8
<b>Potrero 5 años</b>	170.9	100.3	63.2	2,385.5
<b>Potrero 10 años</b>		43.3	31.8	979.6

Sin tener en cuenta los valores de la primera por constante lluvia

Sin embargo las emisiones de metano producidas por un litro de termiteros durante el día al ser llevadas al total emitido por los litros de termiteros presentes en una hectárea, en unidades de gramos por día y kilogramos por año, arrojaron que la cobertura que presenta mayores emisiones durante el día es la cobertura **P10** gracias a la cantidad de termiteros presentes, siendo muy parecidas sus emisiones a las de la cobertura **P5**, pero siendo 2 veces más que **SN** (Tabla. 2).

**Tabla 2.** Emisiones de metano por total de litros por hectárea en cada una de las coberturas.

	<b>Emisión (g.Ha/día)</b>	<b>Emisión (Kg. Ha/año)</b>
<b>Sabana natural</b>	3,257.3	1189
<b>Potreo 5 años</b>	5,214.7	1903
<b>Potero 10 años</b>	8,593.9	3137



**Figura 8.** Correlación de Emisiones de metano por volumen de termitero en cada tipo de cobertura

Las pruebas estadísticas aplicadas a las emisión de metano por cobertura se encontró que no hay normalidad en los datos arrojado un  $P=0.0029$ , lo que indica diferencia entre los datos. Wilcoxon, indicó un resultado de  $P=0.867$  entre **SN** y **P5**, uno de  $P=0.034$  entre **SN** y **P10**, y otro  $P=0,00042$  entre **P5** y **P10**. Estos nos permiten conocer que la cobertura diferente en sus emisiones diarias (24 horas) es **P10**, siendo **SN** y **P5** similares en su comportamiento

Las emisiones producidas durante el día al correlacionarse con el volumen de los termiteros muestreados en cada tipo de cobertura, demuestran que en **SN** no existe una correlación entre el volumen y las emisiones, siendo la correlación de **P10** la más alta de las 3 demostrando que el volumen en esta cobertura

si puede ser causal del incremento en las emisiones, para **P5** existe una correlación no muy alta dejando ver que el volumen si influye en los niveles de emisión pero no es la variable determinante de este incremento (Fig. 8).

#### 4.4 Otras Mediciones

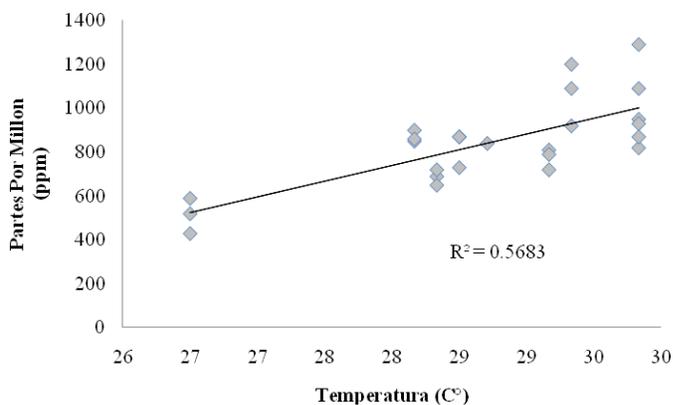
##### 4.4.1 Medición temperatura Ambiente

Las mediciones de temperaturas dan como resultado mayores emisiones en la mañana ya que las mayores temperaturas se presentan durante las 6 horas de acumulación de la mañana que van de 6:00 am a 12 m según (Tabla. 3).

**Tabla 3.** Temperatura promedio por día de muestreo en cada tipo de coberturas por hora de muestreo, Mañana (6:00 am-12:00m), Tarde (12:00m -6:00 pm) y Noche (6:00 pm- 6:00am).

	<b>Temperatur a Mañana</b>	<b>Temperatu ra Tarde</b>	<b>Temperatura Noche</b>
sabana natural #1	32.5	27	28
sabana natural #2	31.5	26	27.5
Potrero 5 #1	31.5	25.5	27.5
Potrero 5 #2	33.5	28	28
Potrero 5 #3	33	27.5	29
Potrero 10 #1	29	25	25.5
Potrero 10 #2	31	26.5	28
Potrero 10 #3	32	27	29

Así mismo se realizo una correlación del promedio de temperatura en las 24 horas de muestreo con las emisiones de metano durante 24 horas del día, arrojando así que existe una no muy alta entre el incremento de emisiones de metano con el incremento de temperatura durante el día al dar un  $R= 0.5$ , demostrando que la temperatura si influye en las emisiones de metano pero no es la única variable que ocasión el incremento de metano (Figura. 9).



**Figura 9.** Correlacion temperatura y emisiones durante 24 horas

#### 4.4.2 Especies de Vegetación por Tipo de Cobertura

Se encontró que las **SN** son usadas para ganadería extensiva, en estas sabanas se pueden encontrar diferentes géneros de vegetación y los **P5** y potreros **P10** son usados para ganadería intensiva, en estos potreros se pueden encontrar una sola especie de pastos introducidos (Tabla. 4)

**Tabla 4.** Especies de vegetaciones encontradas en los 3 tipos de cobertura (Etter 1998)

	Géneros	Usos
<b>Sabana Natural</b>	<i>Trachypogon vestitus</i>	Ganadería Extensiva
	<i>Andropogon virgatus</i>	
	<i>Leptocoryphium Sp.</i>	
<b>Potrero 5 años</b>	<i>Paspalum Sp</i>	Ganadería Intensiva
	<i>Brachiaria decumbens</i>	
<b>Potrero 10 años</b>	<i>Brachiaria decumbens</i>	Ganadería Intensiva

#### 4.4.3 Especies de Termitas por Tipo de Cobertura

En la cobertura **SN** y **P10** se encontró la especie *Systemes dirus* (Burmeister) 1839 (Fig. 10) asimismo para la cobertura **P5** y **P10** se encontró la especie *Anoplotermes pacificus* Mueller, 1873, (Fig.11), siendo **P10** la cobertura que comparte especies tanto de **SN** como de **P5** (Tabla. 5).

**Tabla 5.** Especies de termitas encontradas por tipo de cobertura

	<b>Subfamilia</b>	<b>Especie</b>
<b>Sabana Natural</b>	Nasutitermitinae	<i>Syntermes dirus</i> (Burmeister) 1839
<b>Potrero 5 años</b>	Apicotermitinae	<i>Anoplotermes pacificus</i> Mueller, 1873
<b>Potrero 10 años</b>	Apicotermitinae	<i>Anoplotermes pacificus</i> Mueller, 1873
	Nasutitermitinae	<i>Syntermes dirus</i> (Burmeister) 1839

**Figura 10.** *Anoplotermes pacificus* Mueller, 1873, Vargas. A, 2004.**Figura 11.** *Syntermes dirus* (Burmeister) 1839, Vargas. A, 2004.

## 5. Discusión

### 5.1 Densidad de Termiteros

La transformación y cambios de cobertura favorecen algunos géneros de termitas (Constantino 1992), como *Cylindrotermes*, *Anoplotermes* y *Apratermes*, (Jones *et al.* 2003), que tienen preferencia por pasturas introducidas (Tiago *et al.* 2009) por los cambios que se dan en los suelos producto de la perturbación y prácticas de laboreo mecanizado que perjudican en otros casos a géneros de termitas como *Rhinotermitidae* y *Nasutitermitinae* (Fragoso *et al.* 1999; Jones *et al.* 2003). Por este motivo se consideran a las termitas como especies bio-indicadoras de la transformación que se da en los ecosistemas (Wood y Sands 1978).

En el proceso de transformación se da una perturbación y deterioro de la estructura del suelo por las diferentes prácticas mecanizadas que se usan (Donal 1989), dejando el suelo suelto y ocasionando una mayor disponibilidad de material libre para la construcción de los nidos de termitas, (Constantino 1992), permitiéndole a *Anaplotermes pacificus* (Fig.10) construir sus nidos más rápido, favorece la densidad de los termiteros en las dos coberturas en las que se encuentra.

*Anaplotermes pacificus* encontrada en **P5** y **P10**, es una especie relacionada a pasturas transformadas, mientras que la especie encontrada en **SN** y **P10** *Syntermes dirus* (Fig. 11), prefiere ecosistemas no perturbados (Laffont y Porce 2007).

En **P10** se pueden encontrar las dos especies de termitas debido a que los pastos en esta cobertura no están siendo tratados para evitar que la especie introducida este en excelentes condiciones, al mismo tiempo presentan un mayor tiempo de siembra, ocasionando así que la condiciones en el suelo sean parecidas a las de **SN**, por lo tanto se puede dar la migración de especies de **SN** a **P10** incrementando el número de termiteros en esta cobertura. (Laffont y Porce 2007).

Un factor importante es la acción huma que juega un papel importante como reguladora en la densidad de los termiteros, siendo el caso de los **P5**, estas pasturas al ser las más jóvenes cuentan con prácticas mecanizadas que les permite a los pastos estar más aptos para el ganado e impedir la instalación de mas especies vegetales y animales, esta actividad implica la destrucción de los termiteros lo que lleva a observar un comportamiento similar en la densidad de termiteros de las **SN** y **P5**

## 5.2 Volumen de Termiteros

El cambio en el volumen de las coberturas está relacionado en primer lugar a la densidad y al comportamiento de los géneros al que pertenecen las especies encontradas. Apicotermatinae en donde se encuentra la especie *Anaplotermes pacificus* (Vargas 2004) es un género comedor de humus con preferencia por pasturas transformadas (Laffont y Porce 2007; Y Eggleton y Tayasu 2010) que les permite por condiciones en el suelo construir sus nidos más grandes que otros géneros y tener reservas de alimento dentro de estos (Sleaford *et al.* 1996). En comparación a *Syntermes dirus* del género Nasutitermitinae (Vargas 2004) que prefiere ecosistemas sin transformación pues se alimenta de materia vegetal en alto grado de descomposición (Donovan *et al.* 2001 ) usando el humus el suelo muy poco para su alimentación forma termiteros mas achaparrados y con estructuras más fuertes que les sirven como protección para el ataques de hormigas y otros insectos (Sleaford *et al.* 1996; Bignell y Eggleton 2000)

Los volúmenes de **P10** están relacionados a la transformación, no solo por los géneros de termitas sino también por el control humano que es más evidente en **P5**, mientras que en **P10** no se presenta este control. Esta situación hace que los termiteros tengan más tiempo para desarrollarse completamente, creciendo con su estructura aérea y estando muy relacionado a las especies de termitas que construyen nidos más rápido en ambientes transformados.

### **5.3 Emisiones de Metano**

Las emisiones de metano están relacionadas con los datos de temperatura (Figura 8.), debido a que las termitas incrementan su actividad forrajera y consumo de humus con la reducción de temperatura durante el día; esta baja de temperatura les permite salir del nido para buscar alimento (Frederick y Paul E. 2001; Jamali *et al.* 2010) por lo tanto al no estar todas las termitas en la colonia no hay niveles de metano muy altos. Esto se ve reflejado en los bajos niveles de metano recogidos en la noche y en la tarde, siendo la medición de la mañana, de 6:00 am a 12 pm, las horas con mayor emisión de metano. En este transcurso de tiempo se incrementa la temperatura del día, forzando a las termitas a permanecer en el nido, ocasionando así, mayores emisiones de metano.

Se ha demostrado que los flujos de metano durante el día son mayores pues a mayor temperatura mayor actividad metabólica dentro de los termiteros, independientemente si se está en época de lluvia o en época seca. Sin embargo, los flujos de metano en la época de lluvias son mayores que en la época seca, por lo tanto, la temperatura es una variable importante que puede explicar el incremento de metano en los nidos (Jamali *et al.* 2010).

Las emisiones están relacionadas a las condiciones climáticas, como sucede en el caso de la presencia de niebla o precipitaciones. Estas dos condiciones reflejan la luz solar reduciendo la temperatura (Whitten 1984), disminuyendo las emisiones en los termiteros (Jamali *et al.* 2010). En la Tabla 3 se puede observar que los niveles más bajos se presentan en **P10 #1** debido a que durante la jornada de muestreo, se registraron precipitaciones y una alta nubosidad todo el día

Las similitudes entre las emisiones durante el día por un litro de termitero en **SN** y **P5**, se debe a que en **SN** la especie presente es forrajera comedora de material vegetal, lo que incrementa sus niveles de metano ya que su dieta no es tan estricta, (Sleaford *et al.* 1996; Bandeira *et al.* 2003) en las **SN** hay más presencia de especies vegetales que pueden ser consumidas gracias a las especies de protozoos y bacterias presentes en el intestino de las termitas (Friedrich *et al.* 2001) incrementando los niveles de metano

En **P5** los termiteros son más jóvenes, en estos termiteros de corta edad las obreras están en la etapa de alimentación a las ninfas que van a llegar a ser soldados y obreras, transmitiendo así los protozoos y microorganismos que les permite procesar la celulosa (Miller y Morton 1974), emitiendo así más metano por su alta actividad y permanencia en el nido durante todo el día. Por otra parte los bajos niveles de metano en **P10** durante el día se deben posiblemente a la muerte de muchos termiteros comprobación que se tomo en campo.

Con la alteración de la estructura del suelo producto de la transformación se alteran las propiedades de ventilación y porosidad que ayudan a la liberación del metano, algunas de las variables que influyen en las emisiones de metano son la porosidad, textura, grosor de la materia orgánica, y contenido de agua, viéndose alteradas en **P10** y **P5** (Judith 2003; Macdonal *et al.* 1999)

## **6. Limitaciones del estudio**

En el estudio presenta una serie de limitaciones determinadas por el esfuerzo de muestro y la manera como se midieron las emisiones y la densidad, ya que al hacer más transectos en cada una de las zonas se podrían tener más datos para comparación, así mismo al medir las emisiones de metano en menor rango de horas su habría podido realizar una curva de acumulación. Otro aspecto es que el estudio se realizó en una sola época del año, por lo tanto no permite observar el promedio de variaciones en las emisiones de metano durante todo el año. Sin embargo el objetivo principal que es evidenciar cambios en la densidad, volumen y emisiones de metano en los termiteros después de algunos periodos de transformación si se cumplió.

Algunas recomendaciones para la toma de muestras de las emisiones, es extraer muestras de metano para determinar por medio de un análisis cromatográfico si se encuentran más gases aparte del metano y cuáles son sus concentraciones en determinado volumen. Así mismo se podría realizar una correlación de emisión hora a hora con contra el volumen de cada uno de los termiteros para determinar si el volumen juega un papel importante en la emisión de metano.

El estudio revelo que hay diferencia de especies de termitas en cada una de las coberturas, sería importante realizar un estudio de abundancia y diversidad de especies es estas coberturas para determinar así mismo la edad de los termiteros y su posible relación con las emisiones de metano.

Este estudio sería importante compararlo con la producción de metano emitido por otros organismos para determinar realmente la producción de metano por Ha por la cantidad total de organismos presentes, así

mismo hacer la relación a equivalentes en CO<sub>2</sub> y poder determinar el impacto que tiene el metano en la problemática del calentamiento global.

## 7. Conclusiones

El cambio de emisiones de metano en las coberturas se debe a la transformación de paisaje que sufren las sabanas de la altillanura plana de la Orinoquia, estas transformaciones de sabanas a potreros ocasionan cambios en el comportamiento de las termitas favoreciendo y perjudicando a las diferentes especies. Las especies que prefieren ecosistemas transformados cambian sus dinámicas poblacionales, incrementando la densidad de sus termiteros y así mismo las emisiones de metano liberadas a la atmósfera.

Las temperaturas durante el día influyen en las emisiones de metano ya que esta juega un papel importante en la permanencia de toda la colonia en el nido durante las horas más calientes del día incrementando así las emisiones de metano.

Las sabanas con mayor tiempo de transformación son las que ocasionan mayor producción de metano por termitas, incrementando los niveles de este gas en la atmósfera, contribuyendo significativamente con la problemática del calentamiento global. Así mismo las sabanas recientemente transformadas permiten el alojamiento de otras especies de termitas por su preferencia de especies vegetales introducidas, incrementando la densidad poblacional de los termiteros y por ende se ven incrementadas las emisiones.

## 8. Referencias

BANDEIRA, G.B.; VASCONCELLOS, A.; SILVA, M.P.; CONSTANTINO, R. 2003. Effects of habitat disturbance on the termite fauna in a Highland Humid Forest in the Caatinga Domain Brazil. *Sociobiology* 42: 117–127.

BANDEIRA, G.B.; VASCONCELLOS, A. 2004. Efeitos de distúrbios florestais sobre as populações de cupins (isoptera) do Brejo dos Cavalos, Pernambuco. In: PÓRTO, C.K.; CABRAL, J.J.P.; TABARELLI, M. (eds.). *Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba*. Brasília. pp 145–152.

BIGNELL, D.E.; EGGLETON, P. 2000. Termites in Ecosystems. In: BIGNELL, D.E.; HIGASHI, M. (eds.). *Termites, Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. pp. 363–387. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. The Netherlands.

BLACK, H.I.J.; OKWAKOL, M.J.N. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of termites. *Appl Soil Ecol* 6: 37–53

COCHRANE, T. T.; SÁNCHEZ, L. F. 1981. Clima, paisaje y suelos de las sabanas tropicales de Suramérica. *Inverciencias* 6: 239-243

- CONSTANTINO, R. 1992. Abundance and diversity of termites (Insecta: isoptera) in two sites of primary forest in Brazilian Amazonia, Biotropica, departamento e zoologia, Brazil.
- DAVIES, R. G.; EGGLETON, P.; JONES, D. T.; GATHORNE- HARDY, F. J.; HERNÁNDEZ, L. M. 2003. Evolutions of termite functional diversity: analysis and synthesis of local ecological and regional influences on local species richness. *Journal of Biogeography* 30: 847-77.
- DE SOUZA, O.F.F.; BROWN, V.B. 1994. Effects of habitat fragmentation on Amazonian termites communities. *Trop Ecol* 10: 197–206
- DIBOG, L.; EGGLETON, P.; NORGROVE, L.; BIGNELL, D. E.; HAUSER, S. 1999. Impacts Of Canopy Cover On Soil Termite Assemblages In An Agrisilvicultural System In Southern Cameroon. *Bulletin Of Entomological Research* 89:125-132.
- DONAL, J.; BORROR, A. 1998. Introduction to the Study of Insects. 6ª edición. Saunders College Publishing
- DONOVAN, S. E.; EGGLETON, P. y BIGNELL, D. 2001. Gut content analysis and a new feeding group classification of termites (Isoptera). *Ecological Entomology* 26: 356–366.
- DUARTE, C. M. 2006. Cambio global, Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. CSIC consejo superior de investigaciones científicas. Madrid.
- EHHALT, D.; PRATHER, M. 2001. Atmospheric Chemistry and Greenhouse Gases. 2001. On IPCC 2001 special report. Pp. 239-288.
- ETTER, A. 1995. A landscape ecological approach for grazing development: the case of the Colombian Llanos Orientales. MSc Thesis ITC. Enschede. The Netherlands.
- ETTER, A.; ANDRADE, G. I. 1997. "Marco Conceptual" Informe Nacional Sobre El Estado De La Biodiversidad En Colombia - ( Tomo 3: Capacidad Nacional Para La Conservación Y El Uso Sostenible De La Biodiversidad) . En: Colombia *ISBN: 958-96529-3-X ed: Panamericana Forma E Impresos , v.1 , p.28 - 33 ,1998*
- ETTER, A. 1998. Ecosistemas de Sabanas. In: CHAVES, M.E; ARANGO, N. 1997. (eds.). Informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad Colombia. IAvH y PNUD, Bogota pp. 76–95.
- ETTER, A.; MCALPINE, C.; PHINN, S.; WILSON, K.; POSSINGHAM, H. 2006. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114: 369-386.
- ETTER, A.; ROMERO, M.; SARMIENTO, A. 2010. Land use change (1970-2007) and the Carbon emissions in the Colombian Llanos. In: HILL, M.; HANAN N.P. (eds.). *Ecosystem Function in Savannas: measurement and modeling at landscape to global scales*. Chapter 20 pp. 383-402. Boca Raton.
- FRAGOSO, C.; LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; SENAPATI, B.K.; JIMÉNEZ, J.J.; MARTINEZ, M.A.; DECAËNS, T.; TONDOH, J. 1999. Earthworm influence of management practices. In: LAVELLE, P.; BRUSSAARD, L.; HENDRIX, P. (eds.). *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*. CAB International. Wallingford. pp. 1–26

- FREDERICK, G. H.; PAUL E. 2001. The effects of altitude and rainfall on the composition of the termites (Isoptera) of Leuser Ecosystem (Sumatra, Indonesia). *Journal of Tropical ecology* 17: 379-393. Cambridge University Press.
- FRIEDRICH, M. W.; SCHMITT-WAGNER, D.; LÜDERS, T.; BRUNE, A. 2001. Axial differences in community structure of *Crenarchaeota* and *Euryarchaeota* in the highly compartmentalized gut of the soil-feeding termite *Cubitermes orthognathus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 4880-4890
- GILLER, K. E.; BEARE, M. H.; LAVELLE, P.; IZAC, A M.; SWIFT, M. J. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* 6: 3-16.
- HECTOR, A.; JOSHI, J.; LAWLER, S. P; SPEHN, E. M.; WILBY, A. 2001. Conservation implications of the link between biodiversity and ecosystem functioning. *Oecologia* 129: 624-628.
- HOYOS, P; SILVA, M.; ALMANZA, E. F. 1999. Impacto de diferentes usos y manejos del suelo en los cambios químicos, físicos y biológicos de la Altillanura bien drenada 48 p.
- HOWICK, C.D.; CREFFIELD, J. W.; LENZ, M. 1975. Field collection and laboratory maintenance of *Mastotermes darwiniensis* Froggatt (Isoptera: Mastotermitidae) for biological assessment studies. *Journal of Australian Entomological Society* 14: 155–160.
- IPCC. 1996. In: HOUGHTON, J. T.; MEIRA, L. G.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. (eds.). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge .U.K
- JAMALI, H.; STEPHEN, J.; TRACY, Z.; GARRY, D.; LINDSAY, B.; STEFAN, K.; 2010. Diurnal and seasonal variation in CH<sub>4</sub> flux from termites mounds in tropical savannas of the Northern Territory, Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*. Elsevier
- JONES, D. T.; SUSILO, F. X.; BIGNELL, D. E.; HARDIWINOTOS, S.; GILLISON, A. N.; EGGLETON, P. 2003. Termites assemblage collapse along land-use intensification Gradient in lowland central Sumatra Indonesia. *Journal of Applied ecology* 40: 380-391.
- JUDITH, K. 2003. Thermoregulation and ventilation termite mounds. *Naturwissenschaften* 90: 212-219. Springer Verlag. University of Regensburg Germany.
- LAFFONT, R. E. y PORCEL, E. A. 2007. Diversidad de termitas (Isoptera) en pastizales del nordeste de la provincia de Corrientes, Argentina. *Revista Colombiana de Entomología* 33(1): 82-85.
- LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; WHITMAN, C. 1995. World soils and greenhouse effect: an overview. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE AND, E.; STEWART, B. A. (eds.). *Advances in Soil Science: Soils and Global Change*. Lewis Publishers. Boca Raton pp. 1–8.
- MILLER, E. Y MORTON, V. 1974. *Biología de los termites*. 1ª ed. Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional. México D.F
- MACDONAL, J. A.; JEEVA, D.; EGGLETON, P.; DAVIES, R.; BIGNELL, D. R.; FOWLER, D.; LAWTONS, J.; MARYATY, M. 1999. The effect of termite biomass and anthropogenic disturbance on the CH<sub>4</sub> budgets of tropical forests in Cameroon and Borneo. *Global Change Biology* 5: 869-879.

- MELO, A. C. S.; BANDEIRA, G. B. 2004. A qualitative and quantitative survey of termites (Isoptera) in an open shrubby Caatinga in northeast Brazil. *Sociobiology* 44: 707-716.
- PULLAN, R. A. 1979. Termite hills in Africa: their characteristics and evolution. *Catena* 6: 267-291.
- RANGEL, J. O. 1989. Características bioecológicas y problemática de manejo de la Región Paramuna de Colombia. Volumen especial del seminario: Páramos de Colombia. Suelos Tropicales. Bogotá.
- REILLY, J.; BAETHGEN, W. E.; CHEGE, F. E.; VAN DE GEIJN, S. C.; IGLESIAS, A.; KENNY, G.; PATTERSON, D.; ROGASIK, J.; RITTER, R.; ROSENZWEIG, C.; SOMBROEK, W.; WESTBROOK, J. 1996. Agriculture in a changing climate: impacts and adaptation, In: *Changing Climate: Impacts and Response Strategies*, Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- ROMERO RUIZ, M.; ETTER, A.; SARMIENTO, A.; TANS, K. E. 2010. Spatial and temporal variability of fires in relation to ecosystems, land tenure and rainfall in savannas of northern South America. *Global Change Biology* 16: 2013-2023
- SARMIENTO, G. 1994. Sabanas Naturales, Génesis y Ecología. pp. 57 – 161, en Banco de Occidente (ed.). Sabanas Naturales de Colombia. Cali. Colombia
- SCHARLEMANN, J. P. W.; LAURANCE, W. F. 2008. How green are biofuels. *Science* 319: 43–44
- SIEGENTHALER, U.; SARMIENTO, J. L. 1993. Atmospheric carbon dioxide and the ocean *Nature* 365 (6442): 119-125.
- SLEAFORD, F.; BIGNELL, E. y EGGLETON, P. 1996 A pilot analysis of gut contents in termites from the M balmayo Forest Reserve, Cameroon. *Ecological Entomology* 21: 279–288.
- TIAGO, F. C.; DIVINO, B.; DANILO, E.; DIOGO, A. C.; THIAGO, S. 2009. Effects of pastures implantation on the termite (Isoptera) fauna in the Central Brazilian Savanna (Cerrado). *Insect Conserv* 13: 575-581.
- VARGAS, A. 2004, Termitidae (Insecta: Isoptera) de Colombia: Claves genéricas y distribución geográfica, Tesis de pregrado- Biología. Pontificia Universidad Javeriana de Colombia. Bogotá.
- WHITTEN, A. J.; DAMANIK, S. J.; ANWAR, J.; HISYAM, N. 1984. The ecology of Sumatra. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, Indonesia
- WOOD, T. G.; SANDS, W. A. 1978. The role of termites in ecosystems, pp. 245-292. In: Brain, M. (ed.). *Production ecology of ant and termites*. Cambridge University Press, Londres.