

## EFEECTO DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL Y EL MANEJO DEL SUELO SOBRE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN SABANAS DE LOS LLANOS ORIENTALES DE VENEZUELA

### EFFECT OF TEMPORAL VARIABILITY AND SOIL MANAGEMENT ON MICROBIOLOGICAL PARAMETERS IN SAVANNAS OF THE EASTERN PLAINS OF VENEZUELA

YRMA GÓMEZ<sup>1</sup>, JORGE PAOLINI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui. <sup>2</sup> Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).

*irmagomez52@hotmail.com; jpaolini@ivic.ve*

#### RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la variabilidad temporal y el manejo del suelo sobre los parámetros microbiológicos en un típico suelo Ultisol de sabanas nativas y de pasturas introducidas de los Llanos Orientales de Venezuela. Los parámetros microbiológicos determinados fueron la respiración basal (RB), la respiración inducida por sustrato (RIS) y la hidrólisis del diacetato de fluoresceína (DAF). La variabilidad temporal, el manejo del suelo y el efecto interactivo de ambos factores afectaron significativamente el contenido de carbono y los parámetros microbiológicos en el suelo. El carbono orgánico total y el hidrosoluble, experimentaron una disminución significativa durante el período húmedo. La RB, la RIS y la hidrólisis del DAF mostraron que en estas sabanas existe una comunidad microbiana poco activa. La transformación de las sabanas nativas a sistemas de pastura de *B. brizantha* and *S. capitata* incrementaron la actividad microbiana y el contenido de materia orgánica en el suelo. Los parámetros microbiológicos estudiados fueron indicadores sensibles para estimar cambios en la calidad del mismo y reflejar los efectos causados por la variabilidad temporal y el manejo del suelo.

**Palabras clave:** Manejo del suelo, parámetros microbiológicos, sabanas, variabilidad temporal, Venezuela.

#### ABSTRACT

In this research, the objective was to determine the effects of temporal variability and soil management on microbiological parameters in a typical Ultisol soil of native savannas and in introduced pastures of the Eastern plains of Venezuela. The microbiological parameters determined were basal respiration (BR), substrate induced respiration (SIR) and fluorescein diacetate hydrolysis (FDA). Climatic variability, soil management, and the interactive effect of both factors significantly affected the carbon content and the microbiological parameters in soil. The total organic carbon content (TOC) and water soluble carbon (WSC) experienced a significant decrease during the wet period. The BR, SIR and DAF showed that in these savannas a less active microbial community exists. The transformation of native savannas into pastures systems of *B. brizantha* and *S. capitata* increased the microbial activity and the organic matter content in soil. The microbiological parameters studied were sensible indicators to estimate changes in soil quality and to reflect the effects caused by climatic temporal variability and soil management.

**KEY WORDS:** Soil management, microbiological parameters, savannas, temporal variability, Venezuela.

#### INTRODUCCIÓN

Los microorganismos del suelo llevan a cabo una variedad de actividades metabólicas que determinan el almacenamiento y ciclaje de los nutrientes en el mismo (Srivastava y Singh 1988). Este papel de la fracción microbiana en mediar procesos importantes en el suelo, y su alta tasa de recambio, sugiere lógicamente, que esta

fracción podría ser un indicador sensible y temprano de los procesos de cambio de la materia orgánica en el suelo (Sparling 1997).

La actividad microbiana del suelo resulta severamente afectada por varios factores, entre ellos la variabilidad temporal y el manejo agrícola. En este sentido, se ha tratado de seleccionar aquellos parámetros que resulten

más sensibles a los cambios provocados por diversos factores naturales y antrópicos, y su selección ha sido enfocada sobre aquellos parámetros que se espera cambien más rápidamente (Leiros *et al.* 2000), discriminen entre los efectos de varias prácticas de manejo (Fauci y Dick 1994), que muestren sensibilidad al estrés y restauración del suelo (Dick 1997), y que reflejen en forma segura los cambios espaciales y temporales (Kennedy y Papendick 1995). Dentro de estos parámetros destacan los parámetros microbiológicos tales como la respiración inducida por sustrato (RIS), la respiración basal (RB), y la hidrólisis del diacetato de fluoresceína (DAF). A pesar de la importancia que poseen estos parámetros para hacer comparaciones en los cambios de la calidad de suelos de ecosistemas nativos y aquellos modificados por el manejo agrícola, las investigaciones en este campo en las sabanas tropicales son escasas. En este sentido, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la variabilidad temporal y de la conversión de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Venezuela a sistemas de pasturas sobre los parámetros microbiológicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

Las áreas experimentales seleccionadas fueron la finca de Rancho Comanche (RC) (8° 47' N, 64° 13' W) y la Estación del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (8° 52' N; 64° 13' W), ambas ubicadas al sur del estado Anzoátegui, Venezuela. El elemento geomorfológico de estas áreas lo constituyen "Las Mesas", y su basamento geológico es la Formación Mesa de edad cuaternaria. La tasa de evaporación media mensual y la distribución de las lluvias están representadas en la Figura 1. El suelo de las áreas de estudio es un típico Ultisol (Kandiustul) de textura gruesa a media en sus primeros horizontes, caracterizados por su baja fertilidad (Tabla 1).

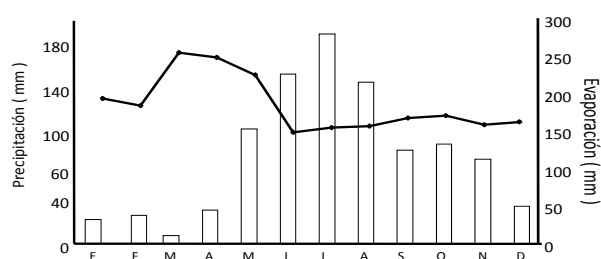


Figura 1. Precipitación (□) y evaporación (■) promedio mensual, en los Llanos Orientales del estado Anzoátegui.

Tabla 1. Características químicas de suelos de los Llanos Orientales de Venezuela.

Área	pH	COT (g kg <sup>-1</sup> )	CHS (g kg <sup>-1</sup> )	NT (g kg <sup>-1</sup> )	PT (mg kg <sup>-1</sup> )
R.C.	5,3	2,8	0,04	0,3	49,5
INIA	5,0	3,4	0,07	0,25	42,0

### Historia de cultivo

La vegetación natural de las áreas de estudio son las sabanas de *Trachypogon* spp. (saeta, paja peluda). En esta investigación, las mismas se consideraron como punto de referencia para determinar cambios en la calidad del suelo.

Las parcelas experimentales de RC y el INIA fueron tratadas con labranza (arado y rastra) antes de llevar a cabo las diferentes rotaciones. En RC, las rotaciones consistieron en el establecimiento del cultivo de *Arachis hypogaea* durante 15 años, *Digitaria swazilandensis*, por 14 años, y por último se introdujo el cultivo de *Brachiaria brizantha* por 7 años. Esta parcela recibió fertilizaciones con 12:24:12 (NPK) y reabonos con 10:12:10 y/o urea, además de un encalado anual de 150 a 350 kg/ha. En la estación del INIA, las rotaciones consistieron en la introducción de los cultivos de *Centrosema rotundifolium* y *Stylosantes capitata*, establecidos por 2 años cada uno. Estos cultivos recibieron fertilización anual 12:24:12 de (NPK) y reabonos con urea y cloruro de potasio. Las parcelas experimentales fueron sujetas a rotativa y fertilizaciones anuales durante el inicio del periodo lluvioso.

### Muestreo

El muestreo del suelo se realizó durante la temporada seca (Marzo del 2001) y en el período de lluvias (Julio de 2001). En cada área experimental, éste se llevó a cabo en 2 parcelas de 100 m x 20 m cercanas entre sí; una ubicada en la sabana nativa y otra en la intervenida. Las muestras fueron recolectadas con un barreno entre 0-10 cm de profundidad a lo largo de tres transectos, cada una con 5 puntos de muestreo, distribuidos a intervalos regulares de 20 m. Las muestras obtenidas en cada transecto fueron mezcladas homogéneamente para formar una muestra compuesta, obteniéndose así tres compuestas por parcelas. Las muestras se tomaron a humedad de campo y se colocaron en bolsas plásticas para prevenir su secado. Una vez en el laboratorio, éstas fueron cernidas (< 2 mm) y

almacenadas a 4°C hasta la determinación de las propiedades químicas y los parámetros bioquímicos correspondientes.

### **Carbono orgánico total e hidrosoluble**

El carbono orgánico del suelo (1 g) se determinó por el método modificado de Walkley y Black (1934), basado en la oxidación incompleta del carbono orgánico mediante una mezcla oxidante de dicromato de potasio y ácido sulfúrico. El contenido de C orgánico se determinó colorimétricamente a 600 nm y los valores obtenidos fueron expresados en g de C kg<sup>-1</sup> de suelo seco.

Para la determinación del Carbono hidrosoluble (CHS), se tomaron 20 g de suelo, los cuales fueron extraídos con 20 ml de agua destilada durante 2 horas a temperatura ambiente y bajo agitación continua. El carbono fue medido en un analizador de carbono Shimadzu, modelo TOC-500, y los valores expresados en g C kg<sup>-1</sup> de suelo seco.

Otras propiedades químicas del suelo determinadas fueron: pH, N total (FONAIAP, 1990) y el P total (Murphy y Riley, 1962).

### **Respiración inducida por sustrato**

La respiración inducida por sustrato (RIS) se determinó por el método de absorción del CO<sub>2</sub> en una trampa de álcali (Stozky 1965), y fue usada para determinar la proporción de carbono microbiano metabólicamente activo. Para ello 50 g de suelo, a humedad de campo, previamente cernidos (< 2 mm) y estabilizados a temperatura ambiente por 5 días, se colocaron en recipientes de vidrio de 500 mL de capacidad. Las muestras fueron mezcladas con 400 mg de glucosa disueltos en la cantidad de agua destilada necesaria para ajustar las muestras al 60% de su capacidad retención hídrica (CRH).

En el interior de cada recipiente, se colocó un vial de vidrio conteniendo 20 ml de NaOH 0.1 N. Los frascos fueron tapados herméticamente y se incubaron por 4 hr a 22°C. De igual forma se prepararon los controles omitiendo en ellos la muestra de suelo. El CO<sub>2</sub> absorbido fue determinado por titulación con HCL 0.1 N y los valores obtenidos fueron expresados en mg Cmic kg<sup>-1</sup> de suelo seco.

### **Respiración basal**

La respiración basal se determinó según el método descrito por Alef y Nannipieri (1995), y al igual que en la determinación de la RIS, las muestras de suelo a

humedad de campo fueron cernidas y estabilizadas a temperatura ambiente por 5 días. 50 g de suelo fueron colocados en recipientes de 500 ml de capacidad, se sellaron herméticamente y se incubaron por 24 h. El CO<sub>2</sub> liberado fue atrapado en una solución de NaOH (0.1N), y el CO<sub>2</sub> absorbido fue titulado con HCL (0.1N). Recipientes vacíos con trampas de álcali se emplearon para determinar el contenido del CO<sub>2</sub> del aire. Los resultados fueron expresados en mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup>.

**Hidrólisis del diacetato de fluoresceína:** La hidrólisis del diacetato de fluoresceína (DAF) se determinó por triplicado según el método descrito por (Adam y Duncan 2001). El cual consiste en añadir a 2 g de suelo fresco, 15 ml del buffer fosfato de potasio (60 mM) pH 7,6 y 0,2 ml de una solución de DAF (1000 µg ml<sup>-1</sup>) como sustrato. Los blancos se prepararon sin la adición del DAF. Los frascos fueron tapados, agitados e incubados a 30°C por 1 hr. Concluido este período, a cada una de las muestras se les añadió 15 ml de una solución de cloroformo/metanol (2:1 v/v) para detener la reacción. Las muestras fueron agitadas y centrifugadas a 2000 rpm por 3 min. El sobrenadante de cada muestra fue filtrado (Whatman N° 42), y el filtrado fue medido a 490 nm. Los resultados fueron expresados en µg de fluoresceína g<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>.

### **Análisis estadísticos**

Los datos fueron analizados mediante la prueba del test de Student para determinar las diferencias entre las medias provocadas por efecto de la variabilidad temporal y el manejo del suelo, y fue empleado un análisis de ANOVA de dos vías para determinar el efecto interactivo de la variabilidad temporal, el manejo y cambio de uso de la tierra. Los análisis estadísticos se realizaron a través del programa estadístico SPSS para Windows (Vinacua 1997).

## **RESULTADOS**

### **Carbono orgánico total e hidrosoluble**

Caracterizan a los suelos de las sabanas de RC y el INIA el bajo contenido de carbono orgánico total (COT) y de carbono hidrosoluble (CHS) (Figuras 2 A y B). Ambos resultaron afectados en forma significativa (p<0,001) por la variación temporal en RC y en el INIA (Tabla 2). En la Figura 2 A se observa que el contenido de COT en la sabana nativa de RC, varió de 2,7 a 2,9 g kg<sup>-1</sup> y en la sabana intervenida con *B. brizantha*, la variación fue de 4,4 a 3,3 g kg<sup>-1</sup>; mientras que en el INIA las fluctuaciones ocurridas en las sabana nativa fueron de 3,9 a 2,8 g kg<sup>-1</sup> y de 4,1 a 2,1 g kg<sup>-1</sup> en la sabana intervenida con *S. capitata*.

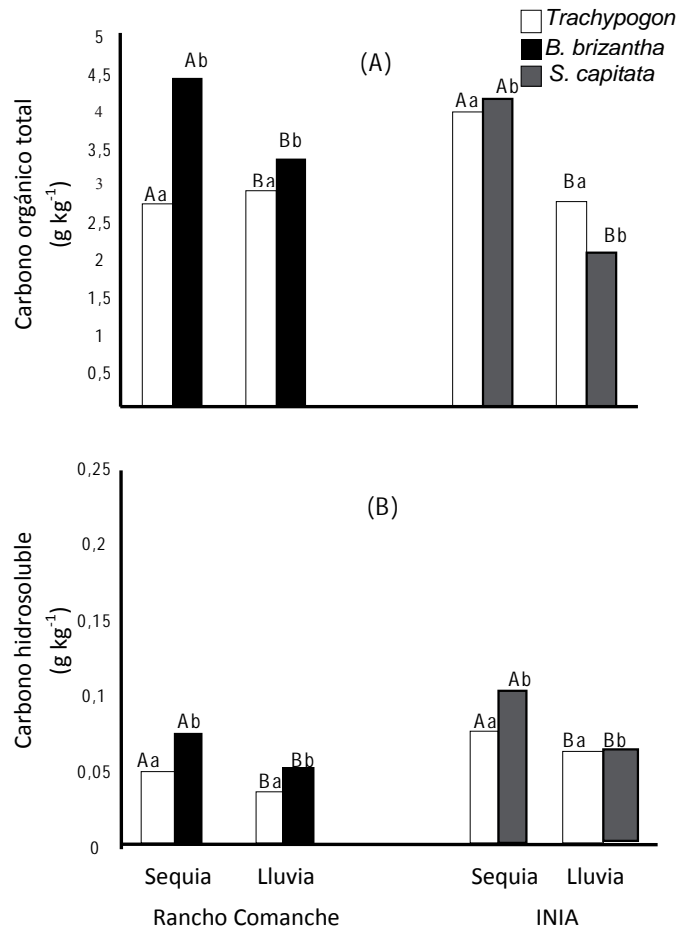


Figura 2. Efecto de la variabilidad temporal y del manejo agrícola sobre el carbono orgánico total (A) y el carbono hidrosoluble (B) en suelos de Rancho Comanche y el INIA de los Llanos Orientales. Diferentes letras mayúsculas indican diferencias entre los períodos climáticos para una misma cobertura vegetal. Diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas entre diferentes coberturas vegetales para un mismo período climático.  $p < 0,05$

Tabla 2. Diferencias estadísticas (valores de F y niveles de significación) entre las medias de las propiedades químicas y parámetros bioquímicos de suelos de sabanas de Rancho Comanche y el INIA en los Llanos Orientales de Venezuela.

Variables	Área	Variabilidad temporal	Cobertura	Interacción
COT <sup>1</sup>	R.C.	30,733 ***	162,693 ***	59,007 **
	INIA	223,259 ***	5,584 *	5,967 ***
CHS <sup>1</sup>	R.C.	62,676 ***	235,488 ***	6,328 *
	INIA	361,092 ***	80,496 ***	36,483 ***
RIS <sup>2</sup>	R.C.	72,258 ***	24,167 ***	3,12 ns
	INIA	433,196 ***	46,56 ***	0,965 ns
RB <sup>3</sup>	R.C.	132,923 ***	0,410 ns	0,410 ns
	INIA	125,641 ***	86,56 ***	17,333 ***
DAF <sup>4</sup>	R.C.	29,283 ***	1,977 ns	7,859 **
	INIA	19,759 ***	35,269 ***	0,322 ns

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; ns: no significativo

<sup>1</sup> g kg<sup>-1</sup>, <sup>2</sup> mg kg<sup>-1</sup>, <sup>3</sup> mg C-CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup>, <sup>4</sup> µg Fluoresceína g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>

En cuanto al carbono hidrosoluble (CHS), éste presentó un comportamiento temporal similar al del COT, es decir, su contenido fue mayor durante el período de sequía; variando en la sabana nativa de RC de 0,05 a 0,03 g kg<sup>-1</sup> y bajo el cultivo de *B. brizantha* de 0,08 a 0,07 g kg<sup>-1</sup> durante los períodos de sequía y lluvias, respectivamente. Mientras que en el INIA, la variación estacional del CHS fue de 0,08 a 0,05 g kg<sup>-1</sup> para la sabana nativa y de 0,10 a 0,06 bajo la cobertura de *S. capitata* durante la temporada seca y lluviosa, respectivamente (Figura 2B).

El COT y el CHS del suelo también resultaron afectados en forma significativa ( $p < 0,001$ ) por el cambio de cobertura en ambas zonas de estudio (Tabla 2). En RC, durante la época seca y bajo el cultivo *B. brizantha*, el COT incrementó su valor, con respecto a la sabana nativa de 2,71 a 4,39 g kg<sup>-1</sup> y en el período lluvioso de 2,89 a 3,31 g kg<sup>-1</sup>. El CHS también experimentó bajo esta cobertura un incremento de 0,05 a 0,07 g kg<sup>-1</sup> durante el período de sequía y de 0,03 a 0,06 durante el período de lluvias (Figuras 2 A y B).

En el INIA durante la temporada seca, bajo la cobertura de *S. capitata*, el contenido de COT y CHS fue mayor con respecto a la sabana nativa. Éste incrementó de 3,94 a 4,11 g kg<sup>-1</sup> y de 0,07 a 0,10 g kg<sup>-1</sup> respectivamente;

sin embargo, en la época lluviosa ambos disminuyeron en un 25,1 % y en un 8,3%, respectivamente (Figuras. 2 A y B).

### Respiración inducida por sustrato

En ambas áreas de estudio, la respiración inducida por sustrato (RIS) resultó afectada en forma significativa por la variabilidad temporal ( $p < 0,001$ ), y el manejo del suelo ( $p < 0,001$ ); no así por la interacción de ambos factores (Tabla 2 y Figura 3). Con la temporada climática, los valores obtenidos en la sabana nativa de RC variaron de 54,0 a 94,0 mg Cmic kg<sup>-1</sup>, bajo la pastura de *B. brizantha* la variación fue de 72,7 a 133,7 mg Cmic kg<sup>-1</sup>; mientras que en el INIA, la variación en la sabana nativa fue de 61,7 a 199,6 mg Cmic kg<sup>-1</sup>, y bajo la cobertura de *S. capitata*, ésta fue de 161,9 a 21,3 mg Cmic kg<sup>-1</sup> (Figura 3).

El manejo del suelo en RC y el INIA también afectó en forma significativa ( $p < 0,001$ ) la biomasa microbiana activa (Tabla 2). En RC la cobertura de *B. brizantha* provocó un incremento de este parámetro en ambos períodos climáticos. Durante la temporada seca, la pastura de *B. brizantha* incrementó en un 25 %; mientras que durante el período húmedo el incremento fue del 29% (Figura 3).

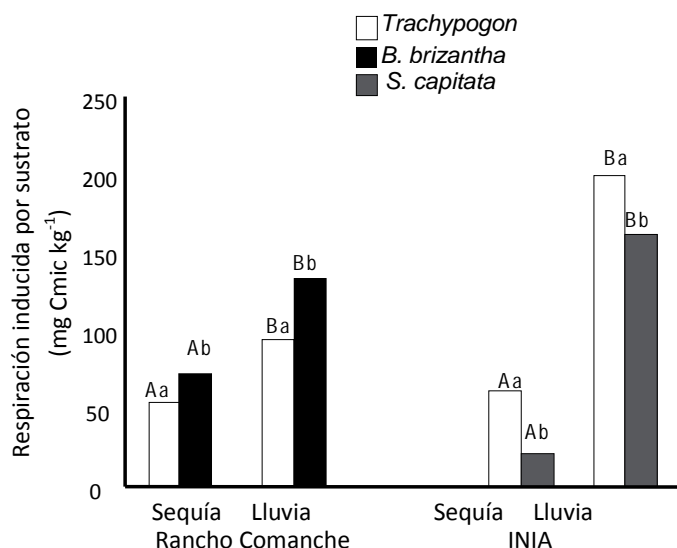


Figura 3. Efecto de la variabilidad temporal y del manejo agrícola sobre el respiración inducida por sustrato en suelos de Rancho Comanche y el INIA de los Llanos Orientales. Diferentes letras mayúsculas indican diferencias entre los períodos climáticos para una misma cobertura vegetal. Diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas entre diferentes coberturas vegetales para un mismo período climático.  $p < 0,05$ .

### Respiración basal:

Los valores de la respiración basal obtenidos en la sabana nativa variaron de 7,5 a 15,9 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup> en Rancho Comanche y de 8.0 a 13.4 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup> en el INIA durante las temporadas de sequía y lluvias, respectivamente; mientras que en la sabana intervenida en RC la respiración basal varió de 7,5 a 16,8 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup>, y en el INIA fue de 11,9 a 23,7 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup> durante los períodos de sequía y lluvia, respectivamente (Figura 4).

Los resultados muestran que en RC la variación de los valores de la respiración basal está determinada exclusivamente por la temporada climática ( $p < 0,001$ ) (Tabla 2). En contraste, las tasas de respiración obtenidas en el INIA, están determinadas no sólo por los períodos climáticos ( $p < 0,001$ ), sino también por el tipo de cobertura ( $p < 0,001$ ), y la interacción de ambos factores ( $p < 0,001$ ) (Tabla 2). Como puede observarse en la (Figura 4), en el INIA, la tasa respiratoria fue mayor bajo el cultivo de *S. capitata* durante los períodos de lluvia y sequía.

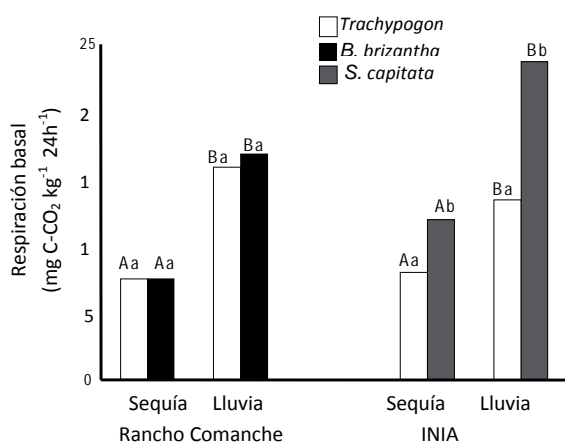


Figura 4. Efecto de la variabilidad temporal y del manejo agrícola sobre la respiración basal en suelos de Rancho Comanche y el INIA de los Llanos Orientales. Diferentes letras mayúsculas indican diferencias entre los períodos climáticos para una misma cobertura vegetal. Diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas entre diferentes coberturas vegetales para un mismo período climático  $p < 0,05$ .

### Hidrólisis del diacetato de fluoresceína:

En RC la hidrólisis del DAF resultó afectada en forma significativa por la variabilidad temporal ( $p < 0,001$ ) (Tabla 2). Los valores de la DAF variaron en la sabana nativa de RC de 38,65 a 51,1  $\mu\text{g}$  de fluoresceína g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> y bajo la cobertura de *B. bryzantha*, esta variación fue de 40,8

a 44,7  $\mu\text{g}$  de fluoresceína g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> durante los períodos de lluvias y de sequía, respectivamente. En el INIA la hidrólisis del DAF incrementó en la sabana nativa de 41,1 a 45,6  $\mu\text{g}$  de fluoresceína g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y bajo la pastura de *S. capitata*, la variación fue de 47,4 a 53,4  $\mu\text{g}$  de fluoresceína g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> durante la temporada lluviosa y de sequía, respectivamente (Figura 5).

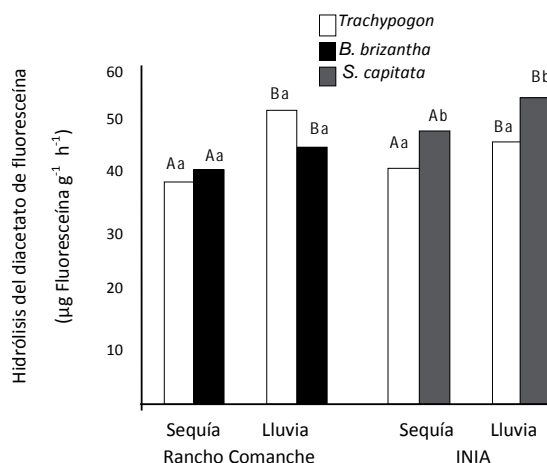


Figura 5. Efecto de la variabilidad temporal y del manejo agrícola sobre la hidrólisis del diacetato de fluoresceína en suelos de Rancho Comanche y el INIA de los Llanos Orientales. Diferentes letras mayúsculas indican diferencias entre los períodos climáticos para una misma cobertura vegetal. Diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas entre diferentes coberturas vegetales para un mismo período climático  $p < 0,05$ .

En RC el sistema de cobertura no ejerció un efecto significativo sobre la hidrólisis de la DAF; aunque la interacción variabilidad temporal x manejo del suelo, si ejerció un efecto significativo sobre la misma (Tabla 2). En contraste, en el INIA la cobertura afectó en forma significativa la hidrólisis de la DAF ( $p < 0,001$ ). En esta área la mayor actividad se observó bajo el cultivo de *S. capitata*, con un incremento con respecto a la sabana nativa del 13% en sequía y del 14,5 % durante el período de lluvias.

## DISCUSIÓN

### Carbono orgánico total e hidrosoluble

Los valores del carbono orgánico total e hidrosoluble presentes en los suelos estudiados se encuentran por debajo del ámbito de aquellos informados para sabanas de los Llanos Centrales de Venezuela (García-Miragaya y Cáceres 1990; Hernández-Hernández y López-Hernández

2002; Paolini y España 1998, sabanas de Colombia; Oberson *et al.* 2001; Jiménez *et al.* 2003 y de Brasil Baligar *et al.* 1999; Chapuis-Lardy *et al.* 2001; Nedufeldt *et al.* 2000). Tanto los valores del COT como del CHS resultaron extremadamente bajos, lo cual sugiere, que éste debe ser un factor altamente limitante para la actividad microbiana en estos suelos, lo cual permite calificarlos como “suelos extremos”.

La disminución que experimentó el COT y el CHS en ambas zonas durante el período lluvioso, indica que durante éste, una proporción significativa del carbono soluble no solamente se pierde por lavado a capas más profundas del suelo Eaton (2001), lo cual es facilitado por la textura arenosa del mismo; sino que durante este período, gran parte del carbono lábil acumulado durante la sequía Parton *et al.* (1987), llega a estar rápidamente disponible para los microorganismos cuando los niveles de humedad incrementan con el inicio de la temporada lluviosa (Trasar-Cepeda *et al.* 1998). Se ha informado que regiones que presentan largos períodos de sequía, como es el caso de las sabanas objeto de este estudio, el rehumedecimiento del suelo al comienzo del período lluvioso, induce a un incremento de la mineralización de la materia orgánica (Birch 1960).

El menor contenido de carbono observado bajo la cobertura de *S. capitata* durante la temporada lluviosa, está determinado en parte por el efecto adverso que la fertilización inorgánica ejerce sobre la nodulación y por ende en la relación *Rhizobium*-leguminosa. Asociado a ello, durante este período la mayor tasa de mineralización de la materia orgánica y las pérdidas por lavado, también contribuyen a la disminución del carbono en estos suelos.

En general, el efecto benéfico que provoca la introducción de pasturas forrajeras de gramíneas y leguminosas en las sabanas de RC y el INIA confirman los informes de Barrios *et al.* (1999), quienes observaron un incremento significativo de la fracción ligera de la materia orgánica cuando las sabanas son reemplazadas por estas pasturas.

#### **Respiración inducida por sustrato**

Los valores de la RIS se encuentran dentro del ámbito de aquellos informados para sabanas de los Llanos Orientales venezolanos Campos (1999), así como para suelos arenosos ácidos de Australia (Sparling y Zhu, 1993), y de zonas templadas bajo sistemas de pasturas (Sparling y West, 1989).

Los mayores valores de la RIS durante el período húmedo evidencian la gran sensibilidad de éste parámetro ante los cambios temporales. Estos resultados confirman los informes de Wardle y Parkinson (1990) quienes señalaron que cambios en la RIS estaban fuertemente y positivamente correlacionados al contenido de humedad y en menor extensión a la temperatura del suelo. Se ha señalado, que cualquier variación de las condiciones medioambientales puede generar valores característicos de la actividad microbiana (Anderson 1994).

Las diferentes respuestas de la RIS observadas bajo el cultivo de *B. brizantha* y de *S. capitata* pueden estar relacionadas a la historia de cultivo en ambas zonas, en las cuales el efecto más reciente de labranza y fertilización en el INIA, pueden explicar la disminución de este parámetro (Ananyeva *et al.* 1999). Se ha determinado que la fertilización puede resultar tóxica para las poblaciones de *Rhizobium* debido al efecto osmótico local que este produce en la zona de la rizósfera y su efecto adverso sobre la nodulación (Russell 1975). La menor proporción de poblaciones microbianas metabólicamente activas presentes bajo la pastura de *S. capitata* durante la época de sequía, está asociada al menor contenido de humedad y altas temperaturas alcanzadas en el suelo (0-10 cm) durante este período. Estos resultados confirman los informes de Sicardi de Mayorca e Izaguirre-Mayoral (1994) quienes informaron sobre una marcada reducción de las poblaciones nativas de *Rhizobium* en el horizonte superficial (0-20 cm) de suelos de sabanas de los Llanos centrales de Venezuela durante la temporada seca. Estos resultados a su vez confirman los informes de Mazarino *et al.* (1993) quienes propusieron que los cambios estacionales de este parámetro, parecían depender de las prácticas de manejo y la humedad del suelo.

#### **Respiración basal:**

Los valores de la RB resultaron más bajos que los señalados por otros autores para los Llanos Centrales de Venezuela (Hernández y López-Hernández 1998). Lo cual sugiere, que en los suelos estudiados existe una comunidad microbiana menos activa, pero adaptada a las condiciones edafoclimáticas reinantes en la zona.

En términos generales la respiración basal resultó aproximadamente 2 veces menor, tanto en la sabana nativa como en la intervenida, durante la temporada seca en ambas áreas de estudio. La menor actividad respiratoria que se registró durante la temporada seca, sugiere que en este período gran parte de la población muere o permanece inactiva bajo las condiciones ambientales desfavorables

del mismo (Anderson y Domsch 1985), tal vez debido al estrés osmótico ocasionado por la baja disponibilidad del agua, o bien a la reducción del fenómeno de difusión. En contraste, durante la temporada lluviosa ocurrió un incremento de este parámetro, lo cual confirma los señalamientos de Raich y Schlesinger (1992), quienes informaron el efecto benéfico de la precipitación sobre la mineralización del carbono. Evidentemente, ante mejores condiciones de humedad, el contenido de CHS existente en el suelo, es rápidamente mineralizado y utilizado en la síntesis celular.

Las diferencias en los patrones de la respiración basal por efecto de la cobertura en RC y en el INIA se explican en parte por la historia del cultivo. Es posible que el período del establecimiento de la pastura *B. brizantha* (7 años), las poblaciones microbianas hayan alcanzado un cierto estado de adaptación en el cual la tasa respiratoria llega a igualar a aquella producida por la flora microbiana de la sabana nativa. Hassik (1994) señaló, que los ecosistemas llegan a alcanzar un estado de equilibrio cuando el manejo del suelo no se efectúa por largos períodos. En contraste, el efecto significativo causado por el cambio de cobertura sobre la respiración basal en el INIA, estaría determinado por las labranzas continuas (arado y rastra) sufridas en 1998 y en el 2000 antes del establecimiento de los cultivos de *C. rotundifolium* y *S. capitata*, respectivamente. Estas frecuentes labranzas del suelo, asociadas al empleo de las rotativas anuales en los mismos, podrían haber provocado una mayor oxidación de la materia orgánica, lo cual se ve reflejado en una mayor tasa respiratoria.

Si se considera que la calidad bioquímica de los sustratos orgánicos añadidos al suelo, constituye la clave que determina la tasa de descomposición de los residuos (Bending *et al.* 2002), y que ésta depende del contenido de C, N, S y lignina (Janzen y Kucey 1988), es posible que la fracción de los compuestos orgánicos presentes en los residuos de la leguminosa *S. capitata*, sean degradados más fácilmente que aquellos presentes en la gramínea *B. brizantha* (Guenni *et al.* 2002). Por otro lado, es importante señalar que los exudados provenientes del sistema radical de ambos tipos de cultivo podrían diferir en su composición, lo cual también puede alterar no sólo la estructura de la comunidad microbiana nativa (Lovell *et al.* (1995), sino también el perfil del nivel fisiológico de la comunidad presente en estos suelos (Degens 1998).

#### **Hidrólisis del diacetato de fluoresceína:**

La dinámica estacional de los valores de la hidrólisis del DAF obtenidos en esta investigación contrasta con

los informes de Bandick y Dick (1999) y Dumontet *et al.* (2001), quienes afirmaron que éstos son relativamente estables con la estación. Los resultados obtenidos confirman, que durante el período de lluvias ocurre una mayor actividad microbiana en estos suelos, lo cual está en concordancia con los incrementos experimentados por la respiración inducida por sustrato y la respiración basal.

A pesar de que no existen datos comparables de este parámetro para sistemas de pasturas tropicales, estos se encuentran dentro del límite informado por otros investigadores para suelos agrícolas bajo diferentes manejos (Bandick y Dick 1999; Taylor *et al.* 2002).

### **CONCLUSIONES**

Los parámetros microbiológicos estudiados fueron indicadores sensibles para estimar cambios en la calidad del suelo y reflejar los efectos causados por la variabilidad temporal y el manejo del suelo. Los resultados obtenidos, permiten sugerir que la variación temporal y el manejo del suelo en las sabanas de los Llanos Orientales de Venezuela son factores que afectan los parámetros microbiológicos estudiados, y que los períodos climáticos, provocan en ellos una gran variabilidad.

La transformación de la sabana nativa a sistemas de pastura de *B. brizantha* and *S. capitata* incrementaron la actividad microbiana y el contenido de materia orgánica en el suelo.

### **AGRADECIMIENTO**

Al Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ADAM A.; DUNCAN H. 2001. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil. Biol. Biochem.* 33:943-951.
- ALEF K.; NANNIPIERI. P. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry.* Academic Press, London, U.K., pp. 215-217.
- ANANYEVA N. D.; DEMKINA T.S.; JONES W.J.; CABRERA M.L.; STEEN W.C. 1999. Microbial biomass in soils of Russia under long-term management practices. *Biol. Fertil. Soils.* 29: 291-299.



- ANDERSON T.H.; DOMSCH K.H. 1985. Determination of ecophysiological maintenance C requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biol. Fertil. Soils* 1: 81- 89.
- ANDERSON T.H. 1994. Physiological analysis of microbial communities in soil: Applications and limitations. pp. 67-76. In: Ritz K., Dighton j. & Giller K.E (eds.). *Beyond the Biomass*. John Wiley and Sons, Chichester.
- BALIGAR V. C.; WRIGHT R. J.; FAGERIA N. K.; PITTA G.V. E. 1999. Enzyme activities in Cerrado soils of Brazil. *Commun Soil Sci. Plant Anal.* 30: 1551-1560.
- BANDICK A. K.; DICK P. R. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1471-1479.
- BARRIOS E.; CORRALES I.; ASAKAWA N.; COBO J.G.; THOMAS R. J; FRIESEN D.K. 1999. Soil macroorganic matter and N mineralization in crop-rotations and ley farming systems for acid-soil savannas of Colombia. pp. 108-112. In: Annual Report 1999 CIAT (ed.) *Overcoming soil degradation through productivity enhancement and natural resource conservation*, CIAT, Cali.
- BENDING G.D.; TURNER M.K.; JONES J.E. 2002. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of the soil microbial communities. *Soil Biol. Biochem.* 34: 1073-1082.
- BIRCH H.F. 1960. Nitrification in soils after different periods of dryness. *Plant Soil.* 12: 81-96.
- CAMPOS G. A. J. 1999. Efecto de la siembra de *Pinus caribaea* L. en las fracciones de la materia orgánica de un suelo de sabana. Uverito- Estado Monagas. Trabajo Especial de grado para optar al título de Licenciada en Biología. Universidad Central de Venezuela, Caracas, pp 84.
- CHAPUIS-LARDY L.; BROSSAD M.; QUIQUAMPOIX H. 2001. Assessing organic phosphorus status of Cerrado oxisols (Brazil) using <sup>31</sup>P-NMR spectroscopy and phosphomonoesterase activity measurement. *Can. J. Soil Sci.* 81: 591-601.
- DEGENS B. 1998. A novel approach for assessing the pattern of catabolic potential of soil microbial communities, pp 206- 214 In: Insam H., & Rangger A. (eds.) *Microbial communities*. Springer, New York.
- DICK R.P. 1997. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. pp. 121-156 In: Pankhurst C.E, Doube B.M, & Gupta V.V.S.R (eds.) *Biological indicators of soil health*. CAB International, Walingford.
- DUMONTET S.; MAZZATURA A.; CASSICI C.; PERUCCI P. 2001. Effectiveness of microbial indexes in discriminating interactive effects of tillage and crop rotations in a vertic ustorthes. *Biol. Fertil. Soils.* 34: 411-416.
- EATON W.D. 2001. Microbial and nutrient activity in soils from three different subtropical forest habitats in Belize, Central America before and during the transition from dry to wet season. *Appl. Soil Ecol.* 16: 219-227.
- FAUCI M.F.; DICK R.P. 1994. Microbial biomass as an indicator of soil quality: Effects of long-term management and recent soil amendments: pp. 229 – 234. In: *defining soil quality for a sustainable environment*, SSSA Especial publication N° 5. Madinson.
- FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (FONAIAP). 1990. *Manual de Métodos y Procedimiento de Referencias (Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad)*. Serie D. N° 26. Escuela de Agronomía. Ministerio de Agriculyura y Cría. FONAIAP. UCLA, Maracay, Venezuela, 206 pp.
- GARCÍA-MIRAGAYA J.; CÁCERES A. 1990. Soil Chemistry changes in a forest-grassland vegetation gradient within a fire and grazing protected savanna from the Orinoco Llanos, Venezuela. *Acta Ecol.* 11: 775-781.
- GUENNI O.; MARÍN D.; BARUCH Z. 2002. Responses to drought of five *Brachiaria* species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. *Plant Soil.* 243: 229-241.
- HASSINK J. 1994 . Effect of soil texture on the size of the microbial biomass and on the amount of C and N mineralized per unit of microbial biomass in dutch grassland soils. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1573 – 1581.

- HERNÁNDEZ R. M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ D. 1998. Mineralización del N y C microbiano y su inmovilización en la biomasa microbiana en agregados de un suelo tropical bajo dos tipos de labranza. XVI Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Francia.
- HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ R. M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ D. 2002. El tipo de labranza como agente modificador de la material orgánica: Un modelo para suelos de sabana de los llanos centrales. *Interciencia*. 27: 529-535.
- JANZEN H.H; KUCEY R. M. N.1988. C, N and S mineralization of crop residues as influenced by crops species and nutrient regime. *Plant Soil*. 106: 35-41.
- JIMÉNEZ J.J.; CEPEDA A.; DECAËNS T.; OBERSON A.; FRIESEN D. K. 2003. Phosphorus fractions and dynamics in surface earthworm casts under native and improved grasslands in a Colombian savanna Oxisol. *Soil Biol. Biochem.* 35: 715-727.
- KENNEDY C.; PAPENDICK R.I. 1995. Microbial characteristics of soil quality. *J. Soil Sci. Water Conserv.* 50:243-248.
- LEIROS M.C.; TRASAR-CEPEDA C.; SEOANE S.; GIL-SOTRES F. 2000. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic Oakwood) in an area of the European temperate-humid zone (Galicia, NW Spain): general parameters. *Soil Biol. Biochem.* 32: 733-745.
- LOVELL R. D.; JARVIS S.C.; BARDGETT R.D. 1995. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: Effects of management changes. *Soil Biol. Biochem.* 27: 969-975.
- MAZZARINO M.J.; SZOTT I.; JIMÉNEZ M. 1993. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass, and water-soluble C in Tropical agroecosystems. *Soil Biol. Biochem.* 25: 205-214.
- MURPHY J.; RILEY J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Anal. Chim. Acta*. 27:31-36.
- NEUFELDT H.; DA SILVA J. E.; AYARZA M.A.; ZECH W. 2000. Land-use effects on phosphorus fractions in Cerrado oxisols. *Biol. Fertil. Soils*. 31: 30-37.
- OBERSON A.; FRIESEN D. K.; RAO I. M.; BÜHLER S.; FROSSARD E. 2001. Phosphorus transformations in an Oxisol under contrasting land-use systems: The role of the soil microbial biomass. *Plant Soil*. 237: 197- 210.
- PAOLINI J.; ESPAÑA Z.M. 1998. Acid phosphomonoesterase activity in soils under savanna vegetation of Venezuela. 16<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Montpellier. France.
- PARTON W.J.; SCHIMEL D.S.; COLE C.V.; OJIMA D. S. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soil Soc. Am. J.* 51: 1173-1179.
- RAICH J.W.; SCHLESINGER W.H. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relations to vegetation and climate. *Tellus*. 44: 81-99.
- RUSSELL E.W. 1975. *Soil Conditions and plant growth*. New York. pp 357-365.
- SICARDI DE MALLORCA M.; IZAGUIRRE-MAYORAL M.M. 1994. Seasonal Dynamic, Host range and simbiotic efficiency of native rhizobial population in three soil horizons of four contrasting savanna sites. *Symbiosis*. 17: 43-63.
- SPARLING G. P.; WEST A.W. 1989. Importance of soil water content when estimating soil microbial C, N and P by fumigation-extraction methods. *Soil Biol. Biochem.* 21: 245-253.
- SPARLING G.; ZHU CH. 1993. Evaluation and calibration of biochemical methods to measure microbial biomass C and N in soil from Western Australia. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1793-1801.
- SPARLING G.P. 1997. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. pp. 67-119 In: Pankhurst C.E.; Doube B.M. & Gupta V.V.S.R. (eds.). *Biological Indicators of Soil Health*. CAB. International.
- SRIVASTAVA S.C.; SINGH J.S. 1988. Carbon and phosphorus in the soil biomass of some tropical soils of India. *Soil Biol. Biochem.* 20: 743-747.
- STOTSKY G. 1965. Microbial respiration. pp. 1550-1570. In: Black C.A, Evans D.D, Esminger L.E, White J.L & Clark F.E. (eds.). *Methods of Soil Analysis*,

- Part 2. Chemical and Microbiological properties. Agronomy Inc, Madison.
- TAYLOR J.P.; WILSON B.; MILLS M.S.; BURNS R.G. 2002. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. *Soil. Biol. Biochem.* 34: 387-401.
- TRASAR-CEPEDA C.; LEIROS M.C.; GIL-SOTRES F.; SEOANE S.1998. Towards a biochemical quality index for soils: an expression relating several biological and biochemical properties. *Biol. Fertil. Soils.* 26: 100-106.
- VINACUA B.V. 1997. *Análisis Estadísticos con SPSS para Windows. Vol I.* McGraw Hill, Barcelona, España, pp 257.
- WALKLEY A.; BLACK I. A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- WARDLE D.A.; PARKINSON D.1990. Comparison of physiological techniques for estimating the response of the soil microbial biomass to soil moisture. *Soil Biol. Biochem.* 22: 817-823.