

Ciclo del carbono en el suelo de la planicie de inundación del río mapire, estado Anzoátegui

Zamora Alejandra

Laboratorio de Microbiología Ambiental
Instituto de Zoología y Ecología Tropical Facultad de Ciencias
Universidad Central de Venezuela
alejandra.zamora@gmail.com
Venezuela

Malaver Nora

Laboratorio de Microbiología Ambiental
Instituto de Zoología y Ecología Tropical Facultad de Ciencias
Universidad Central de Venezuela
alejandra.zamora@gmail.com
Venezuela

Moncada Nelson

Laboratorio de Microbiología Ambiental
Instituto de Zoología y Ecología Tropical Facultad de Ciencias
Universidad Central de Venezuela
alejandra.zamora@gmail.com
Venezuela

Fecha de recepción: 10-01-2014 Fecha de aceptación: 22-03-2014

Resumen

Durante la época lluviosa, la desembocadura del Río Mapire se transforma en un sistema complejo, una planicie de inundación debido al aumento del nivel de agua en este río, debido al represamiento causado por el Río Orinoco. En esa región, se presentan zonas con intensidad de inundación variable, y diferencias espaciales en la textura del suelo y contenido de humedad como consecuencia del gradiente topográfico en sentido perpendicular al cauce del río. Las muestras se colectaron en tres épocas del año (sequía, inicio de

lluvias e inundación) siguiendo un muestreo sistemático en 4 puntos del gradiente, definidos por la intensidad de la inundación: zona máxima inundación (MAX); zona de inundación media (MED); zona de mínima inundación (MIN) y zona nunca inundada (NF). Se determinaron parámetros fisicoquímicos asociados al ciclo del carbono (carbono total, soluble y fracción ligera) y se asociaron con el perfil fisiológico de la comunidad microbiana a través de correlaciones lineales y análisis de componentes principales (CP). Los resultados indican que el ciclo del carbono está regulado por factores que afectan

la actividad microbiana, estableciéndose en la comunidad procesos sucesionales como respuesta a la disponibilidad de sustratos para la mineralización. El metabolismo anaeróbico en el suelo es relevante en la descomposición de materia orgánica a lo largo del hidroperiodo y podría estar influenciado por la disponibilidad de carbono lábil.

Palabras clave: Planicie de inundación; Río Mapire; gradiente topográfico; ciclos biogeoquímicos; actividad microbiana

Carbon cycle in the soil of the flood planire of rio mapire, Anzoátegui state

Abstract

During the rainy season, the mouth of the Mapire River is transformed into a complex system, a floodplain due to the increase of the water level in this river, due to the damming caused by the Orinoco River. In this region, there are areas with variable flood intensity, and spatial differences in soil texture and moisture content as a consequence of the topographic gradient perpendicular to the riverbed. The samples were collected at three times of the year (drought,

onset of rain and flood) following a systematic sampling at 4 gradient points, defined by the intensity of the flood: maximum flood zone (MAX); medium flood zone (MED); minimum flood zone (MIN) and never flooded zone (NF). Physicochemical parameters associated with the carbon cycle (total carbon, soluble carbon and light fraction) were determined and associated with the physiological profile of the microbial community through linear correlations and principal component analysis (PC). The results indicate

that the carbon cycle is regulated by factors that affect microbial activity, establishing successional processes in the community in response to the availability of substrates for mineralization. Anaerobic metabolism in soil is relevant in the decomposition of organic matter throughout the hydroperiod and could be influenced by the availability of labile carbon.

Keyword: Flood plain; Mapire river; topographic gradient; biogeochemical cycles; microbial activity

Introducción

La descomposición de la materia orgánica en el suelo es el proceso principal que da inicio a los ciclos biogeoquímicos. La materia orgánica constituye la fracción del suelo que incluye tanto organismos vivos (biomasa microbiana) como residuos muertos de animales y vegetales en diferentes estados de descomposición y sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente. En tal sentido, es muy compleja y está constituida por un amplio rango de compuestos químicos carbonados, tales como: carbohidratos, fenoles, monómeros y dímeros de lignina, alcanos y alquenos, ácidos grasos saturados e insaturados, n-alquil mono, di y tri ésteres, n-alquil bencenos, metil naftalenos, metil fenantrenos y compuestos diversos de nitrógeno como aminoácidos, péptidos, proteínas, aminoazúcares, amidas, aminas, ácidos nucleicos, entre otros (Carballas, 2004).

En la materia orgánica pueden identificarse dos compartimientos que de acuerdo con su composición, presentan dinámicas muy particulares. Dichos compartimientos han sido identificarlos como fracción activa (biomasa microbiana), fracción lenta (fracción ligera) y fracción pasiva (materia orgánica humificada), [Sollins et al., (1984)]. A través de la mineralización de las fracciones ac-

tiva y lenta de la materia orgánica se reciclan los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, azufre y dióxido de carbono esenciales para las plantas y los microorganismos; destacando la importancia del proceso de descomposición realizado por la microbiota del suelo, como un proceso clave en el funcionamiento del ecosistema. En este sentido, esta investigación tiene como objetivo identificar el papel que juegan los microorganismos bacterianos y fúngicos heterotróficos aislados de la planicie de inundación del río Mapire en la descomposición de la materia orgánica, como proceso fundamental del ciclo del carbono en el suelo.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada al sur del estado Anzoátegui, en la planicie de inundación del río Mapire, en la parte baja del río, cerca de su desembocadura en el Orinoco (7° 44' N y 64° 45' W). De acuerdo con el climadiagrama de la región, la temperatura media anual es 27,4 °C y la precipitación promedio anual es de 1333 mm, con una estación seca entre Noviembre y Abril y la estación lluviosa desde Mayo hasta Octubre (Vegas-Vilarrúbia y Herrera, 1993). La planicie de inundación del río Mapire constituye un valle coluvio-aluvial que ocupa una porción de

la Formación Mesa, del Pleistoceno (Carbón y Schubert, 1994).

Durante la época lluviosa ocurre la formación de un lago de inundación estacional como consecuencia de un fenómeno de represamiento de las aguas por el río Orinoco, donde se puede delimitar un gradiente de inundación que depende de la topografía del área. La vegetación predominantemente boscosa, responde al gradiente longitudinal y perpendicular de profundidad y duración de la inundación [Chacón et al., (2008)].

Diseño del muestreo

Las muestras se colectaron siguiendo un muestreo sistemático en 4 puntos del gradiente, definidos por la intensidad de la inundación. Los puntos muestreados se corresponden con zonas delimitadas previamente por Chacón et al., (2008), quienes establecieron las siguientes áreas: a) MAX, zona topográficamente más baja donde la profundidad de la lámina de agua es de 12 m durante 8 meses; b) MED, zona intermedia donde la inundación alcanza un máximo de 5 m de profundidad por 5 meses; c) MIN, zona en la cual la lámina de agua alcanza 1 m de profundidad durante 2 meses y se incluye la zona NF, más elevada donde no ocurre inundación en ninguna época del año (Figura 1).

Figura 1. Representación de las zonas de estudio indicando diferencias topográficas. MAX: zona más cercana al margen del río, permanece inundada 8 meses, con 12 metros de profundidad. MED: zona media, permanece inundada por 5 meses con una profundidad de aproximadamente 5 metros. MIN: zona topográficamente más elevada, permanece inundada por 1 ó 2 meses con una profundidad de 1 metro. NF. Sabana no inundable.

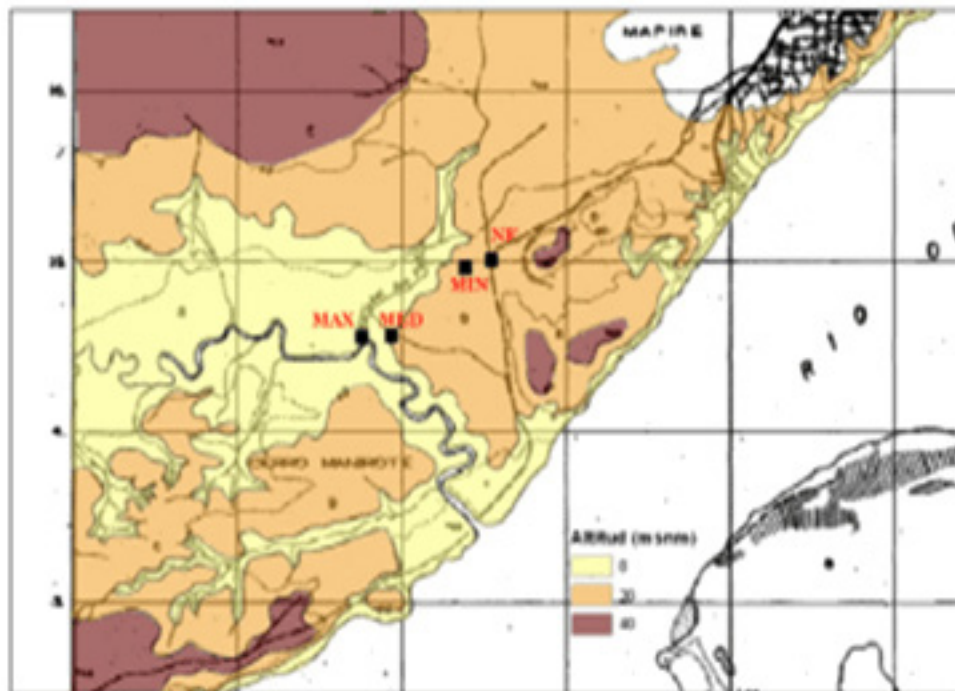
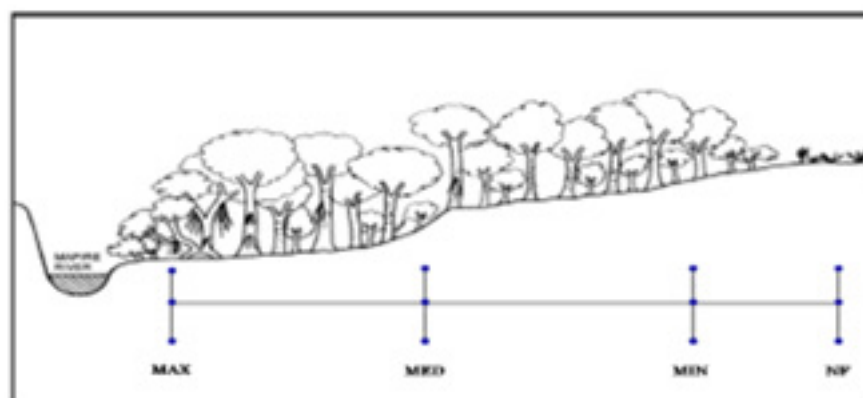


Figura 2. Diseño de la toma de muestras en las diferentes zonas del gradiente de inundación del río Mapire. MAX, zona máxima inundación; MED, zona de inundación media; MIN, zona de mínima inundación, NF, zona nunca inundada.



Los puntos de muestreo se arreglaron en un transepto siguiendo el gradiente de la inundación (Figura 2). En cada punto se tomaron muestras por triplicado en los primeros 10 centímetros del perfil del suelo para el análisis de variables fisicoquímicas y microbiológicas, en un hidropériodo completo que abarca: sequía (T1, marzo), inicio de lluvias (T2, mayo) y época lluviosa (T3, agosto).

Análisis fisicoquímicos

Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente, tamizadas (mesh 10) y homogeneizadas a fin de tomar una fracción representativa para los diferentes análisis. El carbono total (Ct) y el carbono soluble (Cs) se determinaron por el método de oxidación húmeda (Walkley y Black, 1934). La fracción ligera de la materia orgánica se determinó mediante separación física utilizando agua como medio de separación (Anderson e Ingram, 1993).

Análisis microbiológicos

Densidad de bacterias metanogénicas

Se determinó mediante la técnica de NMP utilizando un medio de cultivo base para anaerobios propuesto por Ravott et al., (1995). Este medio base se colocó en tubos de ensayo a razón de 9 ml por tubo; y se suplementó con acetato de sodio al 15% colocando tubos Durham invertidos y una capa de 3 mm de parafina estéril para generar condiciones de anaerobiosis. Los tubos de ensayo

se incubaron a temperatura ambiente durante 60 días. La formación de gas en los tubos Durham indica formación de metano a partir del acetato.

Perfil fisiológico

Aleatoriamente se aislaron de cada réplica 10 cepas de bacterias aeróbicas, 10 cepas de bacterias anaeróbicas (para un total de 30 cepas de bacterias aeróbicas y 30 cepas de bacterias anaeróbicas por cada zona del gradiente) y los diferentes morfotipos de hongos (filamentosos y levaduriformes). El perfil fisiológico de cada cepa aislada fue caracterizado a través de la realización de una serie de pruebas bioquímicas, las cuales se indican a continuación:

• Utilización de carbohidratos

Para determinar utilización de glucosa, lactosa o peptonas (por vía oxidativa y fermentativa) se utilizó Agar Kligler para bacterias y medio enriquecido para hongos (MacFaddin, 2004).

• Utilización de polisacáridos

Para determinar la capacidad de utilizar celulosas y hemicelulosas se utilizó Agar Celulosa (Parkinson et al., 1971), Agar Almidón (MacFaddin, 2004) y Agar Pectina (Parkinson et al., 1971). El agar almidón provee información de la producción de α -amilasas (hidrólisis parcial) y la producción de β -amilasas (hidrólisis total). Se utilizó Agar Lignina y Agar Quitina para determinar la capacidad de degradar polisacáridos estructurales complejos (Parkinson et al., 1971).

• Utilización de Lípidos

Para determinar actividad lipolítica en las cepas aisladas se utilizó Agar Tween, medio elaborado a base de Tween 80 donde se detecta la degradación de compuestos orgánicos grasos (Chakrabarty et al., 1970).

Los resultados de cada prueba bioquímica fueron expresados como frecuencia relativa, número de cepas bacterianas y fúngicas que mostraron respuesta positiva a la prueba, respecto al total de cepas.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de componentes principales (PCA) basados en una matriz de correlación, como técnica de ordenación que relacionó las variables químicas y microbiológicas vinculadas a cada ciclo biogeoquímico en el gradiente de inundación en las diferentes épocas de muestreo. Para los análisis se utilizó el paquete estadístico PAST (Hammer y Harper, 2001).

Resultados y Discusión

En la planicie de inundación del Río Mapire existe un gradiente de condiciones fisicoquímicas que influye en la descomposición de materia orgánica en el suelo. Bastardo (1983) establece que en suelos inundables la materia orgánica depositada en el compartimiento suelo constituye el principal reservorio de nutrientes en este tipo de ecosistemas, debido a tres factores característicos: biestacionalidad (sequía e inundación extremas), suelo mal drenado y la

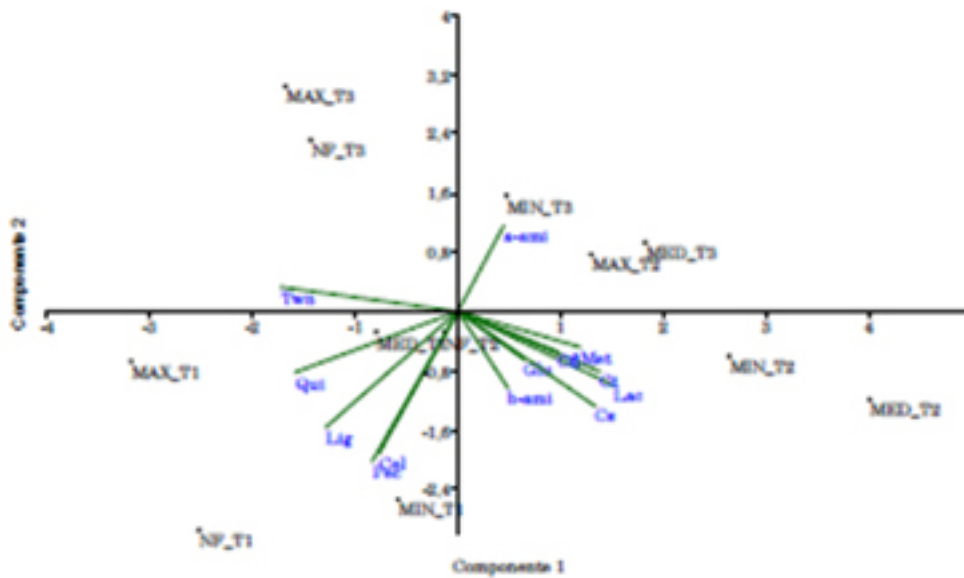
inexistencia de un aporte alóctono de nutrientes.

Con la finalidad de relacionar la distribución de los gremios y la densidad de metanogénicas con las dife-

rentes fracciones del carbono en el suelo, se realizó un análisis de componentes principales basado en una matriz de correlación. Se observó que las diferentes zonas estudiadas del gradiente de inundación se sepa-

ran formando un gradiente espacial y temporal definido por los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, generando diferencias en los procesos del ciclo del carbono en estas zonas (Figura 3).

Figura 3. Análisis de Componentes Principales de las variables fisicoquímicas y microbiológicas asociadas al ciclo del carbono en el gradiente de inundación del Río Mapire (60,5% de la varianza total explicada), CP1 (35,39%) y CP2 (25,11%). MAX, zona máxima inundación. MED, zona de inundación media. MIN, zona de mínima inundación. NF, zona no inundada. T1, sequía. T2, inicio de lluvias. T3, inundación. Ct, carbono total. Cs, carbono soluble. Cfl, carbono de la fracción ligera. Met, densidad de bacterias metanogénicas. Glu, metabolismo de glucosa. Lac, metabolismo de lactosa. a-ami, hidrólisis parcial de almidón. b-ami, hidrólisis completa de almidón. Pec, degradación de pectina. Cel, degradación de celulosa. Lig, degradación de lignina. Qui, degradación de quitina. Twn, degradación de lípidos.



De acuerdo al análisis, en las zonas MAX y MED se determinó mayor frecuencia de utilización de quitina y lípidos, mientras que las zonas MIN y NF se caracterizaron por mayor consumo de pectina, celulosa y lignina (Fig. 3). Se observó que durante la sequía hay deficiencia de carbono lábil, por lo que la materia orgánica

acumulada durante este período permite la expresión de gremios celulíticos, pectinolíticos, lignolíticos, quitinolíticos y lipolíticos, favoreciendo la descomposición de polímeros estructurales.

Una explicación para este patrón durante la sequía es que la vegeta-

ción pierde sus hojas como un mecanismo adaptativo para evitar la evapotranspiración excesiva (Fernández et al., 1999) y esta hojarasca tiende a acumularse ya que déficit hídrico limita la actividad microbiana (Bastardo, 1983; Banach et al., 2009).

La hojarasca contiene alto conteni-

do de compuestos estructurales que son aprovechados por aquellos grupos microbianos (bacterias y hongos) con la capacidad de utilizar estos compuestos (Smart y Jackson, 2009) y en consecuencia, ocurre predominancia de estos gremios. Se determinó que en las zonas MIN y NF predominan los gremios celulolíticos, pectinolíticos y lignolíticos, mientras que en las zonas MAX y MED fueron más frecuentes los quitinolíticos y lipolíticos. Estas variaciones espaciales en la distribución de los gremios podrían ser consecuencia de las diferencias en la textura del suelo. Las zonas MIN y NF presentan mayor contenido de arenas y por tanto un espacio poroso en el suelo que permite mayor difusión de oxígeno, mientras que las zonas MAX y MED presentan una textura más arcillosa, lo cual influye en la disponibilidad de oxígeno y en la actividad de las exoenzimas involucradas (Stoeckel y Miller-Goodman, 2001).

Durante la entrada de lluvias se observó un incremento de la materia orgánica (soluble y particulada), disponible para el ataque microbiano, que permitió la expresión de alta frecuencia de gremios que participan en el metabolismo de carbohidratos simples tales como glucosa, lactosa y almidón (Figura 3). El aumento en el contenido de carbono orgánico disponible se atribuye al incremento de la biomasa microbiana y su actividad, como consecuencia del cambio en la condición de humedad del suelo, el lavado de nutrientes de la hojarasca (Bastardo, 1983), así como lisis de células microbianas por shock osmó-

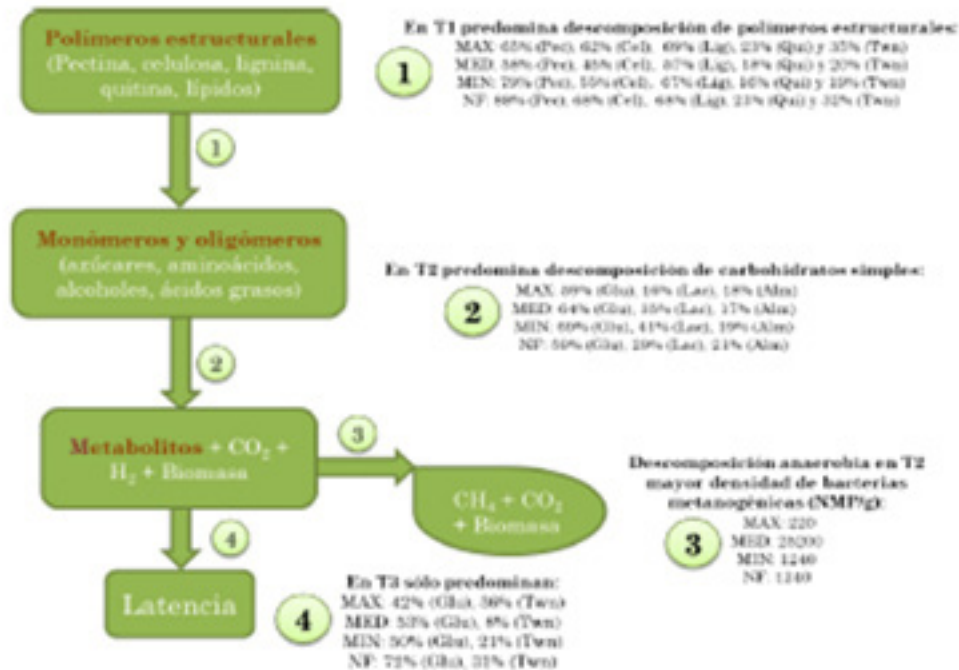
tico producto del rehumedecimiento del suelo (Rees et al., 2006). La vegetación del bosque también incrementa su actividad, incorporando a la solución del suelo exudados radiculares y hojarasca que sirven como sustrato para los microorganismos (Stoeckel y Miller-Goodman, 2001).

Al final del hidropériodo, durante la inundación (T3), se determinó que la frecuencia de utilización de sustratos disminuyó, aunque mantiene su actividad, predominando el uso de carbohidratos simples y lípidos. Las zonas MAX y NF se caracterizaron por presentar alta frecuencia de utilización de lípidos, mientras que en las zonas MED y MIN predominó la hidrólisis parcial de almidón (Figura 1). La predominancia de estos gremios se debió posiblemente a la liberación de estos compuestos del protoplasma durante la lisis celular en el periodo de inundación, mientras que la hidrólisis de polímeros complejos disminuyó por el exceso de humedad.

Con base en los resultados obtenidos, se propone un esquema (Figura 4) que representa la sucesión microbiana involucrada en la dinámica de descomposición de materia orgánica en la planicie de inundación del Río Mapire. De acuerdo con Bastardo (1983), el proceso de descomposición de la materia orgánica inicia con el metabolismo de sustratos orgánicos solubles, inmediatamente disponibles para el ataque microbiano, seguido de la utilización de productos orgánicos intermediarios de esta primera etapa, que son utilizados por

una amplia variedad de microorganismos produciendo más biomasa microbiana. En la etapa final, son mineralizados los polímeros estructurales complejos, más resistentes al ataque microbiano. Los resultados de esta investigación muestran un patrón muy similar al propuesto por este autor, sin embargo, las condiciones de biestacionalidad y deficiencia de nutrientes en el suelo de la planicie de inundación del Río Mapire, condicionan un proceso sucesional particular para este sistema. Resultados similares son reportados por Fierer et al., (2003), quienes indican que no son los pulsos de inundación los que definen la actividad microbiana, sino más bien la disponibilidad de sustratos en el suelo, debido a que la heterogeneidad de la hojarasca en el suelo garantiza variedad de sustratos para la actividad microbiana.

Figura 4. Esquema que describe la dinámica de descomposición de materia orgánica en la planicie de inundación del Río Mapire. MAX, zona máxima inundación. MED, zona de inundación media. MIN, zona de mínima inundación. NF, zona no inundada. T1, sequía. T2, inicio de lluvias. T3, inundación.



Agradecimiento

Los autores agradecen al FONACIT por el financiamiento otorgado para la realización

Conclusiones

La comunidad microbiana establece relaciones complejas entre los diferentes organismos que la componen, así como con las variables físico-químicas en el suelo, definiendo entonces, patrones particulares en los procesos en los que participan. En este estudio, los resultados obtenidos indican que la dinámica del carbono en el bosque inundable del Río Mapire obedece a los cambios

en la disponibilidad de sustratos para los microorganismos, debido a la fluctuación de la lámina de agua y la textura del suelo. Se propone que los pulsos de inundación determinan la disponibilidad de fuentes de carbono y esto a su vez influye en los patrones de estructuración comunitaria.

Referencias Bibliográficas

- Anderson, J.; Ingram, J.S. (1993). Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. CAB International. Wallingford. UK.
- Banach, A.M.; Banach, K.; Visser, E.J.W.; Stepniwska, Z.; Smits, A.J. M.; Roelofs, J.G.M.; Lamers, L.P.M. (2009). Effects of summer flooding on floodplain biogeochemistry in Poland; implications for increased flooding frequency. *Biogeochemistry* 92: 247–262.
- Bastardo, H. (1983). Los microorganismos y su importancia en el proceso de descomposición. Trabajo de Ascenso. Universidad Central de Venezuela.
- Carballas, M.T. (2004). La material orgánica del suelo y el cambio climático global. Discurso de Ingreso, Academia de Farmacia de

- Galicia. Imprenta Universitaria. Santiago de Compostela.
- Carbón, J.; Schubert, C. (1994). Late Cenozoic history of the eastern Llanos of Venezuela: geomorphology and stratigraphy of the Mesa Formation. *Quaternary International* 21: 91–100.
- Chacón N.; Dezzio, N.; Rangel, M.; Flores, S. (2008). Seasonal changes in soil phosphorus dynamics and root mass along a flooded tropical forest gradient in the lower Orinoco River, Venezuela. *Biogeochemistry* 87:157–168.
- Chakrabarty, A. N.; Sati, A.; Pramanik, M.K. (1970). The Hydrolysis of Tween 80 by Vibrios and Aeromonads. *Journal of Applied Bacteriology* 33: 397-402.
- Fernández, M.D.; Pieters, A.; Donoso, C.; Herrera, C.; Tezara, W.; Rengifo, E.; Herrera, A. (1999). Seasonal changes in photosynthesis of trees in the flooded forest of the Mapire river. *Tree Physiology*. 19: 79–85.
- Fierer, N.; Schimel, J.P.; Holden, P.A. (2003). Variations in microbial community composition through two soils depth profiles. *Soil Biology and Biochemistry*. 35: 167-176.
- Hammer, Ø.; Harper, D.A. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 4(1): 9.
- McFaddin, J. (2004). *Pruebas Bioquímicas Para La Identificación De Bacterias De Importancia Clínica*. 3ª Edición. Ediciones Panamericana. Argentina.
- Parkinson, D., Gray, T.R.G.; Williams, S.T. (1971). *Methods for Studying the Ecology of Soil Micro-organisms*. IBP Handbook No 19. International Biological Programme. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Ravot, G.; Ollivier, B.; Magot, M.; Patel, C. (1995). Thiosulfate reduction, an important physiological feature shared by members of the order Thermotogales. *Applied Environmental Microbiology*. 61: 2053-2055.
- Rees, G.; Watson, G.; Baldwin, D.; Mitchell, A. (2006). Variability in sediment microbial communities in a semipermanent stream: impact of drought. *Journal of the North American Benthological Society*. 25(2): 370- 378.
- Smart, K.; Jackson, C. (2009). Fine Scale Patterns in Microbial Extracellular Enzyme Activity during Leaf Litter Decomposition in a Stream and its Floodplain. *Microbial Ecology*. 58: 591- 598.
- Sollins, P.; Spycher, G.; Glassman, C. (1984). Net nitrogen mineralization from light- and heavy-fraction forest soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. 16(1): 31-37.
- Stoeckel, D.M.; Miller-Goodman, M.S. (2001). Seasonal Nutrient Dynamics of Forested Floodplain Soil Influenced by Microtopography and Depth. *Soil Science Society of America Journal*. 65: 922-931.
- Vegas-Vilarrúbia, T.; Herrera, F. (1993). Effects of periodic flooding on the water chemistry and primary production of the Mapire systems (Venezuela). *Hydrobiologia*. 262: 31-42.
- Walkley, A.; Black, A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter