

## CICLOS DE ELEMENTOS (C, N, P Y MICRONUTRIENTES) EN SABANAS Y AGROECOSISTEMAS DE VENEZUELA. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS ESTUDIOS Y CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Danilo López-Hernández

Laboratorio de Estudios Ambientales (LEA)

### INTRODUCCIÓN

Originalmente los objetivos del Laboratorio de Estudios Ambientales (LEA) se expresaron en una iniciativa hacia el conocimiento físico-químico de los suelos y sedimentos del llano venezolano. De hecho, el laboratorio primigenio (Sedimentología) tuvo una destacada actuación en el desarrollo del llamado "Plan Llanos" a finales de los años sesenta. La principal línea de investigación que desarrollamos en ese proyecto consistió en la caracterización química de suelos y sedimentos del llano, en particular se trabajó con las corazas lateríticas conocidas localmente como "arrecifes" y "ripios" de los ecosistemas llaneros (López et al., 1971, 1972). A partir de los años 1974-1975, el LEA se desprende del laboratorio de Sedimentología, y nace con una orientación más ligada al estudio de los procesos físico-químicos del sub-sistema suelo. Si bien aspectos químicos y bioquímicos del fósforo ha sido la línea cardinal de nuestras investigaciones, no se ha soslayado estudios sobre carbono (C), nitrógeno (N), potasio (K) y micronutrientes en ambientes tropicales. De manera sucinta y a través de su desarrollo histórico haremos un bosquejo de nuestras principales investigaciones.

### LA ADSORCIÓN Y DESORCIÓN DE P EN SUELOS Y SEDIMENTOS DE REGIONES TROPICALES Y TEMPLADAS

Una de las características más importante del elemento fósforo en su relación con el ambiente es que este no se lixivia (excepto en casos excepcionales v.g. suelos arenosos) de los ambientes terrestres, a diferencia de otros nutrientes (N o K), el P tiende a ser retenido en el perfil del suelo. Este fenómeno conocido como proceso de retención o fijación de fósforo fue reportado para suelos

desde mediados del siglo XIX; como el fenómeno se encuentra ligado a la presencia de formas solubles de hierro y aluminio, las cuales son abundantes en los suelos y sedimentos tropicales altamente intemperizados, del mismo se dice que es mucho más acentuado en suelos tropicales que templados. Así, durante la gestación de mi trabajo doctoral (octubre 1970- mayo 1973), se ahondó en el conocimiento de la interrelación del P con el ambiente desde el punto de vista del análisis del fenómeno de adsorción de P en suelos y sedimentos de regiones tropicales y templadas. De una amplísima población de suelos tropicales (Malasia, Ghana, Venezuela) y templados (Gran Bretaña) analizados se concluyó que necesariamente los suelos tropicales no adsorben P en mayor proporción que los suelos de regiones templadas y que el fenómeno de retención de P estaba más asociado con un (os) factor (es) en particular (contenido de arcilla, pH, formas solubles de aluminio, hierro, manganeso o materia orgánica) (López-Hernández y Burnham, 1974 a,b); en base a la amplia gama en el grupo de ordenes de suelos estudiados se pudo presentar un análisis de la adsorción de P en base a los tipos de suelos y su variabilidad (Burnham y López-Hernández, 1982; López-Hernández y Burnham, 1982; López-Hernández, 1987). Las menores capacidades de retención de P corresponden en los suelos minerales a los horizontes de eluviación de los podzoles y algunos entisoles, mientras que en los suelos orgánicos, la menor retención la presentan las turberas poco descompuestas de *Sphagnum*. Contrario a lo esperado suelos tropicales altamente intemperizados (ultisoles y oxisoles) no tienen una muy alta capacidad de retención de P debido a la abundancia de formas de Fe y Al cristalina con menor abundancia de sitios activos de fijación. Por otra parte, estudios realizados en sedimentos de lagunas y estuarios tropicales (Lago de Maracaibo y Laguna de

Tacarigua) demostraron que la retención en estos ambientes procede con mecanismos similares a los reportados para suelos (López-Hernández *et al.*, 1981, 1985).

### COMPETENCIAS IÓNICAS Y SU EFECTO EN LA RETENCIÓN DE P

La fuerte capacidad de retención de P en suelos podría ser disminuida por agentes capaces de bloquear, competir o disminuir los sitios activos de adsorción. En el caso de suelos ácidos (abundantes en zonas tropicales), estos sitios están comprometidos con formas reactivas de hierro, aluminio y en menor proporción manganeso, mientras que en suelos calcáreos o de pH neutro o alcalino la adsorción se asocia con las formas reactivas del calcio y en menor proporción de magnesio (Véase libro-revisión de López-Hernández, 1977). De manera tal que, prácticas agronómicas o manejo de suelos que promuevan esas competencias o que bloqueen los sitios de retención, pueden incrementar la fertilidad fosfórica (López-Hernández, 1983; López-Hernández y Ojeda, 1996).

En el LEA, a partir de 1974 se comienza un vigoroso proyecto de investigación sobre el fenómeno de las competencias iónicas, en particular del ortofosfato con los ácidos orgánicos que existen en el ambiente de la rizósfera, como mecanismo para explicar la adaptación de plantas naturales y cultivadas a ambientes de muy baja fertilidad fosfórica (véase la revisión al respecto de López-Hernández y Flores-Aguilar, 1979 y los artículos siguientes López-Hernández *et al.*, 1979, 1986c). Un aspecto importante de estas investigaciones fue la demostración de que en los suelos la matriz adsorbente tiene una mayor afinidad para la adsorción de los ácidos orgánicos (cítrico, oxálico y málico) que para el ortofosfato. Las implicaciones fisio-ecológicas y los aspectos agro-ecológicos de esa aserción han sido trabajado a largo de los años en el LEA.

### BALANCES DE ELEMENTOS EN SABANAS INUNDADAS

También entre 1975-1985 el LEA se involucra con el Proyecto de Investigación Módulos de Apure liderado por el IZT y cuya finalidad, muy en

boga en los estudios ecológicos de la época, era conocer sobre la funcionalidad y las estructuras tróficas y nutricionales de las sabanas inundadas sometidas a procesos de modulación (construcción de una red de pequeños diques). Nos tocó trabajar los aspectos nutricionales, para lo que usamos el enfoque de las pequeñas cuencas hidrográficas que habían sido utilizado con éxito en USA por Bormann y Likens en la década de los 60 (López-Hernández *et al.*, 1983, 1986a,b). El objetivo principal era investigar a través de un estudio de larga duración, mediante la técnica de cuencas hidrográficas que descansan sobre un sustrato impermeable, cual es el destino nutricional de una sabana inundada sometida al proceso de modulación; si este particular manejo de las sabanas inducía pérdidas catastróficas o normales de nutrientes (K, Ca, Mg, Na, P y micronutrientes). El estudio demostró la factibilidad del esquema de modulación de las sabanas sin que se generen eventos catastróficos en el balance de nutrientes (López-Hernández *et al.*, 1983, 1986a,b, 1994; López-Hernández, 1995; Vegas-Vilarrubia, López-Hernández y otros. 1994).

### CICLOS DE C, N, P Y MICRONUTRIENTES EN ECOSISTEMAS NATURALES Y AGRO-SISTEMAS

La experiencia acumulada con los estudios de laboratorio sobre la dinámica del P, permitió proponernos metas más ambiciosas desde el punto de vista conceptual y metodológico, así nuestras líneas de investigación pasaron a un trabajo de corte más ecológico, con experimentos de campo de larga duración donde se analizó el ciclo del P, del N y de micronutrientes, tanto en ecosistemas naturales como en agroecosistemas. En las sabanas de *Trachypogon* de La Iguana, (Estación Experimental Universidad Simón Rodríguez) a partir de 1983 P. Chacón inicia el estudio del ciclo del N en sabanas en una co-tutoría doctoral que realizamos con el Prof. M. Lamotte (Ecole Normale Supérieure, Paris), esta investigación se centra principalmente en los mecanismos de incorporación de N en sabanas a través de la fijación simbiótica y no simbiótica, se coloca particular énfasis en el análisis de los fuegos periódicos en el balance global del N (Chacón *et al.*, 1991, 1992, López-Hernández *et al.*, 2006). Un estudio similar pero

para el P realiza I. Hernández-Valencia en la Estación Biológica de los Llanos (Hernández-Valencia y López-Hernández, 1999, 2002). Dentro de los sistemas agrícola, un análisis detallado de las actividades microbianas bajo diferentes sistemas de labranzas se realizó en un estudio sobre la dinámica del N en sabanas del Guárico central (Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002). Toda esta investigación conforma trabajos originales en su campo, en particular la información sobre los ciclos de N y P en sabanas constituyen una pieza completa sobre los aspectos nutricionales en las sabanas (llanos) de mayor extensión en el norte de Sur América.

Un llamado de la Sociedad de Cañicultores del Estado Yaracuy a los problemas de producción de caña de azúcar en la región condujo a la realización de un estudio multidisciplinario sobre la producción de este renglón, para ello 3 tesis doctorales co-tutoradas con el Dr. E. Medina (Departamento de Ecología, IVIC) fueron diseñadas, las mismas incluían aspectos de ciclos del N, P y micronutrientes en suelos cultivados con caña de azúcar (Sequera *et al.*, 1991; López-Hernández *et al.*, 1993, 2005). Los balances presentados (entradas y salidas) son un buen acopio de información sobre el manejo de este cultivo, al igual que sirven de base para recomendaciones de fertilización (Vallejo-Torres y López-Hernández, 2001).

### **EL PAPEL DE LA FAUNA DEL SUELO EN LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS TROPICALES**

Esta línea de investigación pionera en su campo en Latinoamérica se origina en 1979 como consecuencia del postdoctorado realizado en el Laboratorio de Zoología de la Ecole Normale Supérieure, Paris, entre sus objetivos destacan: Estudiar el papel que juega la fauna del suelo en los ambientes de sabanas. Particularizar atención se dirige a los procesos de descomposición y acumulación de nutrientes en sabanas por acción de termitas y oligoquetos. La línea ha sido muy prolífica, de hecho dos de nuestras últimas publicaciones (*Biol. Fert. Soil* 2006), presentan una discusión formal sobre el mito de la utilización de los termiteros en la fertilización de los suelos de

sabanas (López-Hernández y Febres, 1984; López-Hernández *et al.*, 1989;1993; Lavelle, López-Hernández y otros, 1994; Netuzhilin *et al.*, 1998; Araujo y López-Hernández, 1999; López-Hernández, 2001; López-Hernández *et al.*, 2006).

### **ANÁLISIS DE LA MINERALIZACIÓN DEL P ORGÁNICO: TÉCNICAS ISOTÓPICAS Y CONVENCIONALES**

El P incorporado a los tejidos vegetales y microorganismos es en buena medida, la fuente potencial más importante de P disponible a las planta, esta fuente de P orgánico (Po) solo es utilizable después de ser mineralizado. La mineralización bruta de Po, sin embargo desde el punta de vista metodológico siempre ha tenido la dificultad de ¿como separar, el Pi mineralizado que se absorbe por los organismos del que es fijado por la matriz mineral?. El LEA ha mantenido una línea de investigación continua sobre este proceso a raíz de asociaciones de investigación realizadas con laboratorios de USA (Natural Ecology Lab.FC Co y Notre Dame University) y de Francia (Centre de Pedologie Biologique, Nancy). Fruto de estas investigaciones se ahondó en investigaciones de punta en el proceso y mecanismo de mineralización bruta del P orgánico. La información también ha permitido analizar los mecanismos de adaptación de las plantas de sabanas a los minúsculos niveles de P en el ambiente (López-Hernández y Niño, 1993; Frossard *et al.* 1996; López-Hernández *et al.*, 1998; López-Gutiérrez *et al.*, 2004a,b; Kellogg *et al.*, 2006).

### **EL ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN EL ECOTONO SABANA-BOSQUE AMAZÓNICO**

Una posibilidad real de poder llevar nuestras investigaciones básicas a un plano más relacionado con los problemas de comunidades campesinas y autóctonas se presentó en el momento que desarrollamos para el CONICIT (1993-1997) un proyecto sobre la sostenibilidad agrícola en el ecotono sabana-bosque del Amazonas venezolano cuyos objetivos se referían principalmente a aspectos ligados con la Biodiversidad y Agroecología. Se

analizó la agricultura de bajos insumos en el entorno sabana-bosque como medio para: Reducir la fuerte presión de deforestación sobre el bosque lluvioso tropical y el deterioro ambiental de la zona. La implementación de sistemas agrícolas sostenibles. Los posibles indicadores biológicos de la sostenibilidad y biodiversidad. Estos temas fueron cubiertos en su totalidad a lo largo del proyecto, igualmente el programa de investigación contribuyó a la generación de otros proyectos relacionados en el ámbito de la agricultura autóctona y sostenible (López-Hernández et al. 1997; Araujo y López-Hernández, 1999; García-Guadilla y López-Hernández, 1998; Marconi, López-Hernández y otros, 2002; López-Hernández et al., 2004).

## LAS INVESTIGACIONES ACTUALES

Al día de hoy nuestra actividad científica gira principalmente en un trabajo síntesis sobre los aspectos biogeoquímicos en sabanas de Suramérica (Llanos y Cerrado brasilero) que realizamos en conjunto con el Dr. Michel Brossard (Institut de

Recherche pour le Développement, IRD, Montpellier Francia) y que incluyen los cambios generados por las actividades agrícolas en esos ecosistemas (Brossard y López-Hernández, 2005; López-Hernández et al. 2005).

## AGRADECIMIENTOS

Han sido innumerables las personas e instituciones que han colaborado para hacer realidad estas ideas e hipótesis de investigación, la mayoría (antiguos estudiantes y colegas) sin ser nombradas directamente aparecen en la bibliografía acompañándome como co-autores o autores principales de los trabajos citados; es por ello (dentro de la limitación de espacio exigida por los editores) que deseo enviar un especial reconocimiento a los técnicos de nuestro laboratorio (Abner Febres, Francisco Tovar e Hilarión Mendoza) quienes supieron acompañarnos y darnos coraje "en las buenas y las malas". Los continuos aportes financieros del CDCH y del CONICIT (hoy FONACIT) igualmente hicieron posible esas investigaciones.

---

## LITERATURA CITADA

---

### ARAUJO, Y. AND LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D.

1999. Earthworm populations in a savannah agroforestry system of Venezuelan Amazonia. *Biol. Fert. Soils* 29:413-418.

### BROSSARD, M. ET D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ

2005. Des indicateurs d'évolution du milieu et des sols pour rendre durable l'usage des savanes d'Amérique du Sud. *Natures Sciences et Sociétés*, 13 : 266-278.

### BURNHAM C.P. AND D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ

1982. Phosphate retention in different soil taxonomic classes. *Soil Sci.* 134:376-380.

### CHACÓN P, D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ ET M. LAMOTTE

1991. Le cycle de l'azote dans une savane à *Trachypogon* au centre du Venezuela. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 28 (1): 67-75.

### CHACÓN, P., M. LAMOTTE ET D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ

1992. Dynamique de la matière organique de la strate herbacée dans une savane à *Trachypogon* du Venezuela. *C.R. Acad. Sc. Paris.* t. 315, serie III, p. 209 - 212.

### FROSSARD E., D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ AND M. BROSSARD

1996. Can isotopic exchange kinetics give valuable information on the rate of mineralization of organic phosphorus in soils? *Soil Biol. Biochem.*, 28: 857-864.

### GARCÍA-GUADILLA, M. P. Y D LÓPEZ-HERNÁNDEZ

1998. Dilema de la productividad versus la sostenibilidad ecológica en el ecotono sabana-bosque del Amazonas venezolano. En: R.J.Carrillo (Compilador) Memorias del IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente. Vol I: 282-286. Editorial Equinoccio, Ediciones de la Universidad Simón Bolívar, Caracas.

### HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ R. M. Y D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ

2002. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savannah soil aggregates under conventional and no-tillage. *Soil Biol. Biochem.*, 34: 1563-1570.

### HERNÁNDEZ-VALENCIA, I Y D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ

1997. Distribución del fósforo en una sabana de *Trachypogon* de los llanos altos centrales venezolanos. *Acta Biol. Venez.*, 17 (4): 23-33.

- HERNÁNDEZ-VALENCIA, I Y D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ  
1999. Allocation of phosphorus in a tropical savannah. *Chemosphere*, 39: 199-207.
2002. Pérdida de nutrientes por quema de vegetación en una sabana de *Trachypogon*. *Rev. Biol. Trop.*, 50: 1013-1019.
- KELLOGG, L., S. BRIDGHAM AND D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ  
2006. Organic phosphorus mineralization. A comparison of isotopic and non-isotopic methods. *Soil Science American Journal* 70:1349-1358.
- LAVELLE, P., D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ AND OTHERS.  
1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. En: *The Biology Management of Tropical Soil Fertility*. p. 137-169. O.L. Woomer and M.J. Swift. (Eds.). TSBF: A Wiley-Sayce Publication.
- LÓPEZ-GUTIÉRREZ, J., M. TORO AND D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ  
2004. Seasonality of organic phosphorus mineralization in the rhizosphere of the native savannah grass, *Trachypogon plumosus* *Soil Biol. Biochem.*, 36: 1675-1684.
2004. Arbuscular mycorrhiza and enzymatic activities in the rhizosphere of *Trachypogon plumosus* in three acid savannah soils. *Soil, Agriculture & Environment*, 103: 405-411.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D.  
1977. *La Química del Fósforo en Suelos Ácidos*. Casa Editora: Ediciones de la Biblioteca. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 123p.
1987. The external phosphate requirement of copwea on five dissimilar soils. *Soil Sci.*, 144: 408-411.
1995. Balance de elementos en una sabana inundada. Mantecal, Edo. Apure. Venezuela. *Acta Biol. Venez.*, 15: 55-88.
2001. Nutrient dynamics (C, N and P) in termite mounds of *Nasutitermes ephratae* from savannas of the Orinoco llanos (Venezuela). *Soil Biol. & Biochem.*, 33: 747-753.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Y ARAUJO, A. LÓPEZ, I. HERNÁNDEZ-VALENCIA AND C. HERNÁNDEZ  
2004. Changes in the soil properties and in earthworm populations induced by long-term organic fertilization in the venezuelan amazonia. *Soil Sci.*, 169: 188-194.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., M. BROSSARD AND E. FROSSARD  
1998. P-Isotopic exchange values in relation to P mineralization in soils with very low P-sorbing capacities. *Soil Biol. Biochem.*, 30: 1663-1670.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., M. BROSSARD, J. C. FARDEAU AND M. LEPAGE.  
2006. Effect of different termite feeding groups on P sorption and P availability in African and South American savannahs. *Biology and Fertility of Soils*, 42: 207-214
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. AND C.P. BURNHAM  
1974. The covariance of phosphate sorption with other soil properties in some British and Tropical soils. *J. Soil Sci.*, 25: 196-206.
1982. Phosphate retention in some tropical soils in relation to soil taxonomic classes. *Comm. in Soil Sci. and Plant Anal.*, 13: 573-583.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., J.R. DOMÍNGUEZ Y N. A. DUARTE  
1985. Parámetros que controlan los niveles de fósforo en aguas y sedimentos de una laguna costera (Laguna de Tacarigua). *Boletín Instituto Oceanográfico, Universidad de Oriente.*, 24 (1-2): 225-236.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. ET A. FEBRES.  
1984. Changements chimiques et granulométriques produits dans le sols de Cote d'Ivoire par la présence de trois espèces de termites. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 21: 477-489.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., A. FEBRES E I. FERMÍN.  
1972. Consideraciones sobre el contenido de sodio, potasio, calcio y magnesio en suelos y sedimentos del llano venezolano. *Acta Cient. Venez.* 23: 34-39.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., D. FLORES, G. SIEGERT AND J.V. RODRÍGUEZ  
1979. The effect of some organic anions on phosphate removal from acid and calcareous soils. *Soil Sci.*, 128: 321-326.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., M. GARCÍA AND M. NIÑO  
1994. Input and output of nutrients in a diked flooded savannah. *J. Applied Ecology*, 31: 303-312.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., M. P. GARCÍA-GUADILLA, F. TORRES, P. CHACÓN AND M.G. PAOLETTI  
1997. Identification, characterization and preliminary evaluation of Venezuelan Amazonian production systems in Puerto Ayacucho savannah-forest ecotone. *Interciencia*, 22: 307-314.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., R. M. HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ Y M. BROSSARD.  
2005. Historia del uso reciente de tierras de las sabanas de América del Sur. *Interciencia*, 30: 623-630.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., T. HERRERA AND F. ROTONDO  
1980-1981. Phosphate adsorption and desorption in a tropical estuary (Maracaibo system). *Marine Environmental Research.*, 4: 153-163.
1982. El proceso de adsorción y de desorción de fósforo en un estuario tropical (Sistema de Maracaibo). *Tropical Ecol.*, 23: 173-192.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., C. INFANTE Y E. MEDINA  
2005. Balance de elementos en un agroecosistema de caña de azúcar. I. Balance de nitrógeno. *Tropicultura*, 23: 212-219
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., P. LAVELLE, J.C. FARDEAU AND M. NIÑO  
1993. Phosphorus transformations in two P-sorption contrasting tropical soils during transit through *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae: Oligochaeta). *Soil Biol. Biochem.*, 25 (6): 789-792.

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., E. MEDINA, C. INFANTE, D. SEQUERA, M. NIÑO AND O. VALLEJO-TORRES.

1993. Nutrient cycles in a sugarcane agroecosystem. En: *Soil biota, nutrient cycling, and farming systems*. p. 147-156. M.G. Paoletti, W. Foissner, D. Coleman (Eds.). Lewis Publishers, Florida

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. AND M. NIÑO

1993. Phosphorus mineralization during laboratory incubation in soils derived from different textured parent materials. *Geoderma*, 56: 527-537.

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., M. NIÑO, M. SOSA, L. YANES, L. GARCÍA Y F. TOVAR.

1986. Balance de elementos en una sabana inundable (Módulo Experimental de Mantecal, Edo. Apure). II. Balance de entradas y salidas. *Acta Cient. Venez.* 37: 182-184.

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., M. NIÑO, J.C. FARDEAU, NANNIPIERI AND P. CHACÓN

1989. Phosphorus accumulation in savannah termite mound in Venezuela. *Journal of Soil Science*, 40: 635-640.

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Y A. OJEDA

1996. Alternativas en el manejo agroecológico de los suelos de las sabanas del norte de suramérica. *Ecotropicos*. 9(2): 99-115.

LÓPEZ, D., P. ROA E I. RAMÍREZ.

1971. Estudios en un sedimento ferruginoso llamado localmente "Ripio". *Bol. Soc. Ven. Cienc. Natur.*, 24: 27-49.

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., S. SANTAELLA Y P. CHACÓN

2006. Contribution of free-living organisms to N-budget in *Trachypogon* savannahs. *European Journal Soil Biology*, 42(1): 43-50.

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., G. SIEGERT AND J. RODRÍGUEZ

1986. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50: 1460-1462.

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., M. SOSA, L. YANES AND L. GARCÍA.

1983. Annual budgets of some elements in a flooded savannah (Módulo Experimental, Mantecal, Venezuela). *Environ. Biogeochem. Ecol. Bull.*, 35: 541-545.

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., M. SOSA, M. NIÑO Y L. YANES.

1986. Balance de elementos en una sabana inundable (Módulo Experimental de Mantecal, Edo. Apure). I. Entradas y salidas de materiales. *Acta Cient. Venez.* 37: 174-181.

MARCONI, S., P. MANZI, L. PIZZOFERRATO, E. BUSCARDO, H. CERDA, D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ AND M. PAOLETTI

2002. Nutritional evaluation of terrestrial invertebrates as traditional food in Amazonia. *Biotropica*, 34: 273-280.

NETUZHILIN, Y., P. CHACÓN, H. CERDA, D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ, F. TORRES, M. PAOLETTI.

1998. In M.V Reddy: *Management of Tropical Agroecosystems and Beneficial Soil Biota*. Oxford & Ibh. Publ. pp. 288-350.

SEQUERA, D., D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ AND E. MEDINA

1991. Phosphorus dynamics in a sugar-cane crop. Phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. Regional Workshop 3: South and Central America H Tiessen, D López – Hernández and I Salcedo (Eds). Published by the University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.

VALLEJO-TORRES, O. Y D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ

2001. Micronutrient content in sugarcane ashes and its effect in a sugarcane agroecosystem. *Comm. in Soil Sci. and Plant Anal.* 32: 409-419.

VEGAS-VILARRUBIA, T., D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ AND OTHERS

1993. Small catchment's studies in the tropical zone. En: *Biogeochemistry of small catchments: A tool for environmental research*. SCOPE. Chapter 15: 343-360. Edit. B. Moldan and J. Cerný, John Wiley and Sons Ltd.