

Revista de la Universidad del Zulia



Fundada en 1947
Por el Dr. Jesús Enrique Lossada

Ciencias
del Agro
Ingeniería
y Tecnología

Año 4 N° 8
Enero – Abril 2013
Tercera Época
Maracaibo - Venezuela

Evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos cultivados con cacao (*Theobroma Cacao* L.) en la Sierra de Perijá

M., Moreno, H., Pirela*, M., Medina*, N., Molina**, V., Polo*.
M., Urdaneta*.*

RESUMEN

Con el propósito de evaluar las propiedades de los suelos cultivados con cacao en la Sierra de Perijá (Zulia, Venezuela) y mejorar su rendimiento, se muestrearon suelos a 20 cm de profundidad para determinar potencial de mineralización del nitrógeno, nitratos, amonio, respiración microbiana, actividad de ureasa, fosfatasa ácida y alcalina, textura, pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, nitrógeno total, C/N, fósforo disponible y las bases intercambiables. Los análisis de correlación, regresiones múltiples y componentes principales con SAS, mostraron que las características bioquímicas de estos suelos variaron con la granulometría. El poco carbono orgánico causó bajo C/N desfavoreciendo la actividad microbiana, el potencial d Use of Fruits Fodder Trees in Tropical Farming

*. Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía, Departamento de Ingeniería, Suelos y Aguas. E-mail: mariamoreno1968@gmail.com

** . Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura y Diseño, Instituto de Investigaciones de Arquitectura.

bases intercambiables, respiración microbiana, potencial de mineralización del nitrógeno y nitratos.

PALABRAS CLAVE: propiedades del suelo, cacao, actividad biológica, mineralización del nitrógeno.

*Evaluation of Biological, Physical and Chemical Properties of Cultivated Soil With Cocoa (*Theobroma Cacao* L.) in Sierra de Perijá*

ABSTRACT

In order to evaluate properties of cultivated soils with cocoa in Sierra de Perijá (Zulia, Venezuela) and improving their efficiency, cultivated soils samples of 20 cm depth were taken to determine the potential of nitrogen mineralization, nitrate, ammonium, microbial respiration, activity of ureases, acid and alkaline phosphatase, texture, pH, electrical conductivity, organic carbon, total nitrogen, C / N, phosphorus available and exchangeable bases. Correlation analysis multiple regressions and main components with SAS showed that biochemical characteristics of these soils varied with granulometry. Low C/N was caused by little quantity of organic carbon working against microbial activity, the potential of nitrogen mineralization, acid and alkaline phosphatase. Soils rich in calcium phosphates showed high availability of phosphorus and calcium and low availability of potassium and magnesium. The pH affected the availability of nutrients, interactions among exchangeable bases, microbial respiration, nitrogen mineralization potential and nitrates.

KEYWORDS: properties of soil, cocoa, biological activity, mineralization of nitrogen.

Introducción

En los últimos veinte años, la superficie cultivada con cacao en Venezuela ha registrado un descenso progresivo pasando de 65.366 hectáreas en 1993 a 54.679 hectáreas en 2011, lo cual representa una contrac-

ción de 16,33%; sin embargo, a pesar de que para el año 2003 se registró la más baja producción y superficie cosechada del país, con rendimientos inferiores a 300 Kg•ha⁻¹, en el 2011 el rendimiento se incrementó a 418 Kg•ha⁻¹ con una producción total de 22.856 toneladas (FEDEAGRO, 2012). De cualquier manera, estos rendimientos representan menos de la mitad del promedio mundial, y apenas una tercera parte del rendimiento promedio de los grandes productores de cacao, tales como Costa de Marfil, Ghana, Nigeria e Indonesia, razón por la cual Venezuela es en la actualidad un productor marginal de cacao, aportando menos de 0,6 % de la producción mundial de este rubro (Quintero y García, 2010; Campo, 2005).

El bajo rendimiento de las plantaciones de cacao en el país obedece a diversos factores, entre los que se cuenta principalmente la presencia de plantaciones viejas con un manejo tradicional y poco uso de tecnologías agrícolas, escasa asistencia técnica y en algunos casos, la existencia de condiciones agroclimatológicas adversas, especialmente en lo referente a la disponibilidad de agua (Quintero y García, 2010; Campo, 2005; Portillo et al., 1994). Por otro lado, el cacao es un cultivo poco exigente en nutrientes, por lo que para producir una tonelada de semilla comercial, la planta extrae alrededor de 30 Kg de N, 8 Kg P₂O₅, 40 Kg de K₂O, 13 Kg de CaO y 10 Kg de MgO; sin embargo, cabe destacar que este cultivo requiere de suelos de texturas medias, bien drenados y con buena fertilidad para alcanzar altos rendimientos y buena calidad de la semilla (Uribe et al., 2009; Barriga et al., 2006).

De esta manera, se expone la necesidad de estudiar detalladamente las condiciones de fertilidad de los suelos cacaoteros a fin de establecer un programa de fertilización integral y eficiente, especialmente en aquellas zonas de ecosistemas frágiles donde se siembra el cacao como cultivo conservacionista de las cuencas, tal como ocurre en la Sierra de Perijá, donde la producción de este cultivo se realiza bajo un esquema tradicional como ocurre en la mayor parte de las plantaciones del país.

El propósito de este estudio fue evaluar las características y relaciones entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos cultivados con cacao en el sistema agroforestal de la Sierra de Perijá, a fin de realizar un manejo eficiente de la fertilidad integral de dichos suelos que permita mejorar el rendimiento del cultivo.

1. Materiales y metodología

El estudio se realizó en ochenta y dos parcelas de cacao de aproximadamente 8 a 9 hectáreas, localizadas en el sector Caña Brava de la Sierra de Perijá, municipio Rosario de Perijá del estado Zulia. Las plantaciones se encuentran entre los 140 - 450 msnm, en terrenos con relieve quebrado de topografía irregular y con fuertes pendientes, surcados de caños intermitentes. Las precipitaciones de la zona varían entre 1000 y 1200 mm al año, por lo que predomina una vegetación de bosque sub-húmedo tropical (COPLANARH, 1975).

Se tomaron muestras compuestas de suelos de la superficie cultivada con cacao de cada unidad de producción, a 50 cm de profundidad. Las plantas tenían entre 1 – 2 años de trasplantadas en terrenos deforestados para el establecimiento del cultivo. La plantación se encontraba en óptimas condiciones fitosanitarias, rodeada por musáceas, algunos frutales y árboles forestales autóctonos de la zona que le proveían la sombra temporal y permanente, requerida por este cultivo. Las muestras de suelo fueron divididas en dos partes: una parte se refrigeró a 4 °C hasta realizar los análisis biológicos, y la otra parte de las muestras fueron secadas al aire y tamizadas a 2 mm para realizar los análisis físicos y químicos. Se evaluó el potencial de mineralización del nitrógeno lábil (PMN), por incubación del suelo durante 21 días, el nitrógeno nítrico (N-NO₃) y amoniacal (N-NH₄) por extracción con KCl 2N y destilación con aleación de Devarda y MgO; la respiración microbiana (RM) por el método de evolución del CO₂, la actividad de la enzima ureasa (URE) por el método de hidrólisis de la urea en 2 horas de incubación a 37 °C, de la fosfatasa ácida (FAC) y fosfatasa alcalina (FAL) por reducción del nitrofenol fosfato incoloro a nitrofenil fosfato color amarillo, en una hora de incubación a 37 °C. También se determinó la textura del suelo por el método de Bouyoucos, el pH y la conductividad eléctrica (CE) en suspensión 1:2,5; el carbono orgánico (CO) por el método de Walkley- Black, el nitrógeno total (NT) por Kjeldahl, el fósforo (P) y el potasio (K) disponibles extraídos por Olsen y cuantificados por colorimetría y fotometría de llama, respectivamente, el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) disponibles por el método de Morgan.

Las características y relaciones entre las propiedades de los suelos se evaluaron a través de los análisis de correlación, regresiones múltiples y análisis por componentes principales utilizando el paquete estadístico el SAS v. 8.01 (SAS, 1991).

2. Resultados y discusión

2.1. Características físicas, químicas y biológicas de los suelos

Las características físicas, químicas y biológicas de los suelos del área de estudio son resumidas en la tabla 1.

En líneas generales, el 68,75 % de los suelos evaluados son de textura franca (F) y alrededor del 21,88 % se clasifican como franco - arenosos (Fa). En zonas muy localizadas y ocupando muy pequeñas proporciones se observaron suelos con tendencia a tener texturas más finas, del tipo Franco-arcillo-arenosa (6,25%) y Franco – limosa (3,13%). El predominio de una granulometría con texturas gruesas, las altas pendientes del terreno y las altas precipitaciones en las épocas lluviosas de la zona, han favorecido la pérdida de suelo por la erosión, especialmente en aquellas parcelas ubicadas en las zonas más altas del área evaluada. Del mismo modo, estos factores son determinantes al momento de aplicar planes de fertilización al cultivo, a fin de tener una alta eficiencia en la absorción de los nutrientes aplicados y evitar residuos contaminantes de acuíferos, caños y ríos de la zona.

Las concentraciones de P (91,00 ppm) y K (113,27 mg•Kg⁻¹) fueron altas en la mayoría de las parcelas, aunque se observó una disminución significativa de P en las parcelas ubicadas en las zonas bajas del área de estudio. Contrariamente, las concentraciones de K disminuyeron en las plantaciones localizadas en las zonas más altas del área estudiada. Los valores de P y K disponibles encontrados en esta investigación son mucho más elevados que aquellos reportados por López et al. (2007), en plantaciones cacaoteras de avanzada edad ubicadas en el piedemonte de la cordillera costera de Choroní (estado Aragua, Venezuela), debido al agotamiento de la fertilidad de esos suelos, los cuales han sido continuamente cultivados con cacao desde los tiempos de la colonia española.

El Ca (318,58 mg•Kg⁻¹) presentó una disponibilidad media en los suelos de las zonas bajas, en tanto que en las zonas altas se encontraron concentraciones significativamente elevadas (> 500 mg•Kg⁻¹). Por su parte, el Mg mostró concentraciones medias a bajas (38,41 mg•Kg⁻¹) en toda el área de estudio, sin mostrar patrones de distribución afectados por la altitud. Trabajos previamente realizados en cacaotales de Venezuela y Centro América, han reportado contenidos de Ca y Mg más elevados que los hallados por este estudio (Cerdeira, 2008; López et al., 2007).

Tabla 1. Características físico- químicas de los suelos de la zona Caña Brava

	Desviación		
	Media	Estándar	Mínimo Máximo
pH (1:2,5)	6,58	0,47	5,90 7,60
CE (1:2,5 dS.m ⁻¹)	0,05	0,02	0,03 0,09
CO (%)	1,06	0,44	0,13 1,86
NT (%)	0,48	0,41	0,129 1,491
C/N	3,41	2,51	0,18 7,75
P (ppm)	91,00	51,81	8,00 184,00
K (mg.Kg ⁻¹)	113,27	75,41	25,00 289,00
Ca (mg.Kg ⁻¹)	318,58	110,41	104,00 531,00
Mg (mg.Kg ⁻¹)	38,41	14,56	12,00 67,00
Ca/Mg	4,77	1,94	1,60 8,66
Ca/K	5,95	5,04	0,93 20,45
Mg/K	1,65	1,33	0,21 4,40
(Ca+Mg)/K	8,82	6,7	1,29 23,90
arena (%)	42,29	8,66	29,60 58,80
Limo (%)	39,82	6,99	27,20 53,60
Arcilla (%)	18,31	5,83	7,60 27,60
RM (mg CO ₂ .Kg ⁻¹ .d ⁻¹)	14,35	8,918	2,37 36,78
N-NH ₄ (mg N-NH ₄ .Kg ⁻¹)	33,80	12,090	7,77 57,23
N-NO ₃ (mg N+NO ₃ .Kg ⁻¹)	27,44	16,492	0 58,14
PMN (mg N.Kg ⁻¹)	60,32	11,058	38,84 76,87
URE (µg N-NH ₄ .g ⁻¹ .h ⁻¹)	79,59	28,43	28,72 135,63
FAC (µg PNP.g ⁻¹ .h ⁻¹)	237,79	70,74	118,59 364,24
FAL (µg PNP.g ⁻¹ .h ⁻¹)	208,21	109,13	3,00 370,56
Arcilla (%)	18,31	5,83	7,60 27,60

La presencia de minerales ricos en calcita y fosfatos de calcio (*Miembro Tres Esquinas de la Formación La Luna*, Stainforth, 1962) explicaría las razones por las que el Ca y el P mostraron elevadas concentraciones en las zonas altas del área de estudio, así como las bajas concentraciones de K y Mg, asociada a las relaciones de antagonismo con Ca.

Las elevadas concentraciones de Ca en las zonas altas y las bajas concentraciones de Mg en los suelos de las plantaciones, han originado algunos desequilibrios entre las bases intercambiables, pudiendo afectar significativamente y en el mediano plazo, la disponibilidad de estos nutrientes en la producción comercial del cultivo. De esta manera, el índice Mg/K (1,65) fue muy bajo en toda la zona de estudio evidenciando problemas en la disponibilidad de Mg por antagonismo con las altas concentraciones del K en estos suelos. Por otro lado, Ca/K (5,95) y (Ca + Mg)/K (8,82) mostraron valores óptimos en las zonas altas, pero se observó una disminución significativa en estos índices con el descenso en la altitud, seguramente relacionado a la reducción en las concentraciones de Ca en los suelos de las plantaciones cacaoteras localizadas en las zonas bajas del área de estudio.

La Ca/Mg (4,77) fue la única relación que mostró niveles óptimos en toda el área de estudio; sin embargo, este valor se encuentra muy cercano al límite óptimo para la buena disponibilidad de Mg, pudiendo cambiar desfavorablemente a medida que el cultivo agote este nutriente del suelo, especialmente si se intensifica la producción comercial del cacao en la zona. En este caso, las deficiencias de Mg afectarían el rendimiento y la calidad comercial de la semilla de cacao cosechada (Uribe et al., 2009).

El CO mostró una concentración baja (1,06 %) en toda el área de estudio; entre tanto, que el contenido de NT varió de medio a alto en todas las plantaciones cacaoteras, encontrándose las mayores concentraciones en la zona alta del área evaluada. La relación C/N encontrada es baja (3,41), lo cual está directamente relacionado con el bajo contenido de MO de la zona y el aumento del NT característico de todos los sistemas de producción agroforestal. La pobreza en MO de estos suelos estaría relacionada con las pérdidas de la misma por la deforestación para el establecimiento de cultivos y extracción maderera, la erosión de los suelos por la alta escorrentía y el establecimiento de cultivos inapropiados (malanga) en estos terrenos de pendientes pronunciadas. Aparte de las pérdidas de las capas húmicas superficiales por la erosión del suelo, Hardy (1959) también expuso que las baja C/N también obedecía al aumento del nitrógeno orgánico

por medio de los nódulos de las raíces de árboles leguminosos de sombra comúnmente sembrados entre el cacao y la disminución de la cantidad de hojarasca, acelerada por la cosecha continua. Por otro lado, en los sistemas agroforestales la mayor parte del carbono y nitrógeno forman parte de la materia orgánica particulada que forma los agregados de mayor tamaño en el suelo, que son más resistentes a las pérdidas por erosión (Meléndez, 1997).

Los trabajos de Cerda (2008) en plantaciones de cacao del valle de Talamanca (Costa Rica) presentaron valores de CO, C/N y NT semejantes a los encontrados en el presente estudio. Por otro lado, López et al. (2007) reportaron niveles inferiores de CO (0,11 – 0,29 %) en los suelos cacaoteros de Choróni (Aragua, Venezuela). En los suelos cacaoteros del Sur del Lago de Maracaibo (Zulia, Venezuela) se reportaron valores de CO y C/N superiores a los encontrados en este trabajo, mientras que el contenido de NT fue significativamente más bajo en dichos suelos. Este resultado estaría directamente relacionado con el aporte continuo de materia orgánica depositada por el desbordamiento de los ríos y caños localizados en el Sur del Lago de Maracaibo (Vera et al., 2000; Armado et al., 2009).

La actividad microbiana de los suelos mostró una alta variación entre las plantaciones (2,4 – 28,0 mg CO₂·Kg⁻¹·s·d⁻¹). Estas variaciones también fueron reportadas en suelos cacaoteros venezolanos de los estados Mérida y Zulia con bajo contenido de materia orgánica (Armado et al., 2009) y en sistemas agroforestales en Costa Rica y México (Cerda, 2008; Álvarez-Solís y Anzueto, 2004). Los trabajos realizados en suelos tropicales indican que los valores medios de la respiración microbiana para indicar que hay una buena actividad microbiana se ubican entre 26,0 – 48,0 mg CO₂·Kg⁻¹·s·d⁻¹. Al comparar estos valores de referencia con aquellos obtenidos en este estudio, se observó una pobre actividad microbiana en los suelos de las parcelas cacaoteras analizados, por lo tanto, se estimó que hay un bajo potencial de mineralización de los sustratos orgánicos (hojarasca, restos de cosecha, etc.) y de reciclaje de los nutrientes (Cerda, 2008). Seguramente, la pobre actividad microbiana de estos suelos estaría directamente relacionada a los bajos contenidos de CO para ser utilizados como sustrato por la biomasa microbiana.

El PMN tuvo un promedio de 60,32 mg N·Kg⁻¹, mientras que los contenidos de N-NH₄ (33,80 mg N·Kg⁻¹) y N-NO₃ (27,44 mg N·Kg⁻¹) fueron de medios a bajos. El N-NO₃ mantuvo una distribución uniforme en las

plantaciones ubicadas a distintas altitudes; en tanto que PMN y N-NH_4 tuvieron un comportamiento similar a NT, al presentar los valores más elevados en las zonas altas del área de estudio.

Estos resultados coincidieron con los obtenidos por Martínez (1972), en suelos cacaoteros de Turrialba (Costa Rica); no obstante, cabe señalar que en algunos suelos agrícolas venezolanos se han reportado PMN significativamente más bajos que los obtenidos en esta investigación (López-Hernández et al., 2005).

La URE mostró un promedio de $79,59 \mu\text{g N-NH}_4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ distribuido uniformemente en la zona de estudio. En suelos de plantaciones cacaoteras orientales y occidentales de Venezuela se han observado valores de URE inferiores a los obtenidos en este estudio, aún a pesar de encontrarse en zonas aluviales y con alta actividad biológica en el suelo (Armado et al., 2009; Flores et al., 2005). Sin embargo, Contreras et al. (1995) consiguieron actividad enzimática de la URE significativamente altas en los suelos agrícolas del estado Yaracuy (Venezuela).

La FAC presentó un promedio de $237,79 \mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1}$ y la FAL $208,21 \mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1}$ con poca variación entre las plantaciones a diferentes altitudes. Armado et al. (2009), obtuvo valores de FAC y FAL en los suelos cacaoteros del occidente venezolano significativamente mayores a los obtenidos en esta investigación. Posiblemente los bajos contenidos de CO observados en las plantaciones desfavorezcan la actividad de las fosfatasa.

2.2. Relaciones entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos

Las correlaciones significativas entre las distintas propiedades del suelo han sido resumidas en la tabla 2.

Se observó que la poca materia orgánica tiene un papel significativo en estos suelos, ya que por un lado, provee una fracción importante del P disponible en estos suelos ($r = 0,9925$), y por otro lado, en su estado más humificado retiene una gran cantidad de bases intercambiables, especialmente de Ca ($r = 0,8796$) en los complejos coloidales arcillo-húmicos, lo cual origina un aumento del índice Ca/Mg ($r = 0,9285$) en estos suelos. No obstante, se detectó que los índices Ca/K ($r = -0,8781$) y (Ca+Mg)/K ($r = -0,9332$) mostraban sus más altos valores en aquellas zonas donde la materia orgánica era más escasa, probablemente asociado

a las altas concentraciones de calcita y fosfatos de calcio en los suelos (Stainforth, 1962).

Por otra parte, los materiales orgánicos humificados y altamente refractarios asociada a la fracción mineral del suelo (complejos arcillo-húmicos), tienen una gran resistencia a la degradación microbiana, lo cual explicaría la disminución de la mineralización para liberar $N-NH_4$ ($r = -0,8499$) con el incremento de C/N. Así mismo, estos complejos coloidales arcillo-húmicos están principalmente saturados de Ca proveniente de los minerales primarios de estos suelos, favoreciendo los altos índices Ca/Mg ($r = 0,9285$).

Por otra parte, se observó un aumento en el índice C/N a medida que se incrementó el proceso de humificación de la materia orgánica, favorecida principalmente por la acción de la actividad enzimática de URE ($r = 0,9989$) que mineraliza los compuestos orgánicos nitrogenados.

El bajo contenido de materia orgánica de estos suelos coincidió con un aumento en la concentración de $N-NO_3$ ($r = 0,9319$), seguramente relacionado con los procesos de mineralización de la materia orgánica liberando formas minerales del N; resultados semejantes fueron encontrados por Álvarez-Solís y Anzueto (2004), en suelos agrícolas aluviales de Chiapas (México), explicando que había un favorecimiento de los procesos de nitrificación de los compuestos orgánicos nitrogenados que eran mineralizados de la materia orgánica.

El NT tuvo correlaciones positivas con P ($r = 0,8525$) y $N-NH_4$ ($r = 0,8719$). Probablemente esta relación sea explicada por la influencia positiva del P sobre la actividad enzimática de URE ($r = 0,9932$) que hidroliza compuestos nitrogenados orgánicos (ureicos) liberando $N-NH_4$, favoreciendo las concentraciones de NT del suelo. Por otro lado, Martínez (1972) también observó un aumento en la fracción mineral del NT de suelos cacaoteros de Costa Rica, cuando realizaron aplicaciones de P y K a las plantaciones. Es notorio que la buena disponibilidad de P en estos suelos, favorece los valores de NT en los mismos.

El pH tuvo un efecto marcado en la actividad microbiana, la mineralización de nitrógeno orgánico y los procesos de nitrificación, según lo demuestran las correlaciones encontradas con RM ($r = 0,9004$), $N-NH_4$ ($r = 0,8876$) y $N-NO_3$ ($r = 0,8467$).

Tabla 2. Matriz de correlación entre las propiedades de los suelos cacaoteros del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá.

	P	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K	pH	CE	arena	Limo
P	1,0000	-0,9145 ^a	0,2156	0,3047	0,1250	0,8096 ^a	-0,8444 ^b	0,3660	0,0055	0,5993	0,6591	0,1639
K	-0,9145 ^b	1,0000	-0,0099	-0,0842	-0,4503	<-0,0001	<-0,0001	<-0,0001	0,1186	0,0240	0,0824	0,8329 ^a
Ca	0,2156	-0,0099	1,0000	0,2691	0,1095	0,0019	0,0005	0,0010	0,4041	0,8085 ^a	-0,0152	0,0662
Mg	0,3047	-0,0842	0,2691	1,0000	-0,0007	0,6568	0,0112	0,1845	0,4873	-0,9608 ^b	0,6322	0,3195
Ca/Mg	0,1250	-0,4503	0,1095	-0,0007	1,0000	0,9247 ^a	0,5528	-0,9848 ^b	0,7272	-0,7552	-0,7516	0,3115
Ca/K	0,8096	<-0,0001	0,0019	0,6568	0,9247 ^a	1,0000	0,0003	<0,0001	-0,2617	-0,0357	-0,0638	0,0871
Mg/K	-0,8444 ^a	<-0,0001	0,0005	0,0112	0,5528	0,0003	1,0000	<0,0001	-0,4390	-0,3323	-0,0932	0,9813 ^b
(Ca+Mg)/K	0,3660	<-0,0001	0,0010	0,1845	-0,9848 ^b	<0,0001	<0,0001	1,0000	-0,4355	-0,0529	-0,0153	0,1764
pH	0,0055	0,1186	0,4041	0,4873	0,7272	-0,2617	-0,4390	-0,4355	1,0000	0,0001	0,8132 ^a	0,4193
CE	0,5993	0,0240	0,8085 ^a	-0,9608 ^b	-0,7552	-0,0357	-0,3323	-0,0529	0,0001	1,0000	-0,5499	0,6338
arena	0,6591	0,0824	-0,0152	0,6322	-0,7516	-0,0638	-0,0932	-0,0153	0,8132 ^a	-0,5499	1,0000	1,24E-05
Limo	0,1639	0,8329 ^a	0,0662	0,3195	-0,3237	0,0871	0,9813 ^b	0,1764	0,4193	0,6338	1,24E-05	1,0000
Arcilla	0,7196	<-0,0001	0,0012	0,0151	-0,0501	0,0004	<0,0001	<0,0001	-0,7188	-0,5336	-0,0807	-0,5839
RM	0,1498	<0,0001	-0,0113	-0,4644	-0,5119	-0,0439	-0,0293	-0,0348	0,9004 ^a	0,1565	0,1585	-0,5904
N-NH ₄	0,4516	0,4564	-0,8485 ^a	0,1375	0,5362	0,4435	-0,7786	-0,8715 ^a	0,8876 ^a	0,9120 ^a	-0,931 ^b	0,5578
N-NO ₃	0,6779	-0,4118	0,4354	-0,3665	0,5644	0,3457	0,7563	0,6550	0,8467 ^a	-0,5268	0,9043 ^a	0,6518
PMN	0,1197	-0,5231	0,3597	0,7616	0,5644	0,3457	0,7321	0,4053	0,6362	-0,4614	0,7377	-0,2365
URE	0,9932 ^b	0,1204	0,8713 ^a	-0,7590	0,9155 ^a	0,6884	-0,5030	0,8313 ^a	0,1990	0,0618	0,0369	-0,2365
NT	0,8525 ^a	-0,0252	0,3790	0,4816	-0,5510	0,0055	0,1591	0,0026	-0,1191	-0,0119	-0,9661 ^b	-0,9255 ^a
CO	0,9925 ^b	0,0843	0,8796 ^a	0,2163	-0,5762	-0,8781 ^a	0,7493	-0,9332 ^b	0,2055	0,0016	-0,0388	0,0840
C/N	-0,4621	0,0297	0,1907	-0,3205	0,9285 ^a	0,4599	-0,0309	-0,0249	0,7175	0,0070	0,5841	0,9769 ^b
FAC	-0,4863	0,6990	0,7369	-0,9274 ^a	-0,5497	0,4599	0,6869	0,5174	-0,0726	-0,6337	-0,0371	0,1949
FAL	0,0430	0,0930	0,0942	-0,9205 ^a	0,3340	-0,7965	-0,6168	-0,5648	0,0572	0,2879	-0,3538	0,0801

a. p < 0,05

b. p < 0,01

c. p < 0,001

Tabla 2. Matriz de correlación entre las propiedades de los suelos cacaoteros del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá (continuación).

	Arcilla	RM	N-NH ₄	N-NO ₃	PMN	URE	NT	CO	C/N	FAC	FAL
P	0,7196	0,1498	0,4516	0,6779	0,1197	0,9932 ^b	0,8525 ^a	0,9925 ^b	-0,4621	-0,4863	0,0430
K	0,0000	<0,0001	0,4564	-0,4118	-0,5231	0,1204	-0,0252	0,0843	0,0297	0,6990	0,0930
Ca	0,0012	-0,0113	-0,8485 ^a	0,4354	0,3597	0,8713 ^a	0,3790	0,8796 ^a	0,1907	0,7369	0,0942
Mg	0,0151	-0,4644	0,1375	-0,3665	0,7616	-0,7590	0,4816	0,2163	-0,3205	-0,9274 ^a	-0,9205 ^a
Ca/Mg	-0,3237	-0,0501	-0,5119	0,5362	0,5644	0,9155 ^a	-0,5510	-0,5762	0,9285 ^a	-0,5497	0,3340
Ca/K	0,0004	-0,0439	-0,6645	0,4435	0,3457	0,6884	0,0055	-0,8781 ^a	-0,0388	0,4599	-0,7965 ^a
Mg/K	<0,0001	-0,0293	-0,7786	0,7563	0,7321	-0,5030	0,1591	0,7493	-0,0309	0,6869	-0,6168
(Ca+Mg)/K	<0,0001	-0,0348	-0,8715 ^a	0,6550	0,4053	0,8313 ^a	0,0026	0,9332 ^a	-0,0249	0,5174	-0,5648
pH	-0,7188	0,9004 ^a	0,8876 ^a	0,8467 ^a	0,6362	0,1990	-0,1191	0,2055	0,7175	-0,0726	0,0572
CE	-0,5336	0,1565	0,9120 ^a	-0,5268	-0,4614	0,0618	-0,0119	0,0016	0,0070	-0,6337	0,2879
arena	-0,0807	0,1585	-0,9310 ^b	0,9043 ^a	0,7377	0,0369	-0,9661 ^a	-0,0388	0,5841	-0,0371	-0,3538
Limo	-0,5839	-0,5904	0,5578	0,6518	0,2733	-0,2365	-0,9255 ^a	0,0840	0,9769 ^a	0,1949	0,0801
Arcilla	1,0000	-0,0008	-0,8574 ^a	0,6861	0,6118	-0,2227	0,0131	-0,8741 ^a	-0,0251	-0,7858	-0,5089
RM	-0,0008	1,0000	-0,7294	-0,9727 ^b	-0,6448	0,0690	-0,0122	0,0109	0,0010	0,0242	0,4326
N-NH ₄	-0,8574 ^a	-0,7294	1,0000	<-0,0001	0,9135 ^a	-0,5849	0,8719 ^a	-0,5428	-0,8499 ^a	0,9206 ^a	0,6627
N-NO ₃	0,6861	-0,9727 ^b	<-0,0001	1,0000	0,0013	0,9115 ^a	0,7096	0,9319 ^a	-0,7336	-0,8043	-0,8178 ^a
PMN	0,6118	-0,6448	0,9135 ^a	0,0013	1,0000	-0,8104 ^a	0,3993	-0,7363	0,6408	-0,7672	0,8326 ^a
URE	-0,2227	0,0690	-0,5849	0,9115 ^a	-0,8104 ^a	1,0000	0,4154	0,6871	0,9989 ^c	-0,2557	0,7922
NT	0,0131	-0,0122	0,8719 ^a	0,7096	0,3993	0,4154	1,0000	-0,0105	<-0,0001	-0,1044	-0,0838
CO	-0,8741 ^a	0,0109	-0,5428	0,9319 ^b	-0,7363	0,6871	-0,0105	1,0000	0,0003	0,0015	0,0506
C/N	-0,0251	0,0010	-0,8499 ^a	-0,7336	0,6408	0,9989 ^c	<-0,0001	<0,0001	1,0000	0,0161	0,2306
FAC	-0,7858	0,0242	0,9206 ^a	-0,8043	-0,7672	-0,2557	-0,1044	0,0015	0,0161	1,0000	0,1301
FAL	-0,5089	0,4326	0,6627	-0,8178 ^a	0,8326 ^a	0,7922	-0,0838	0,0506	0,2306	0,1301	1,0000

a. p ≤ 0,05
 b. p ≤ 0,01
 c. p ≤ 0,001

Resultados similares fueron reportados por Álvarez-Solís y Anzueto (2004) en suelos agrícolas aluviales, y por Armado et al. (2009) en suelos cultivados con cacao en el Sur del Lago de Maracaibo (Zulia, Venezuela), explicando que los microorganismos tenían una adaptación variable según la reacción del suelo, siendo la actividad microbiana favorecida en suelos neutros y básicos, mejorando la mineralización de la materia orgánica para liberar N-NH_4 y N-NO_3 .

Cabe destacar que en este estudio se observó que a medida que se incrementaban los nitratos se inhibía la actividad microbiana en estos suelos ($r = -0,9727$). De manera similar Gómez y Paolini (2003) expusieron que en los suelos de sabana de los llanos orientales de Venezuela, la actividad microbiana y enzimática disminuía a medida que el N-NH_4 era nitrificado, agotándose los compuestos orgánicos mineralizables y acumulando altas cantidades de N-NO_3 en el suelo.

Por su parte la CE de estos suelos mostró un efecto más limitado que el pH, seguramente asociado a la poca cantidad de sales solubles observadas. Por una parte, se observó una relación positiva entre la concentración de sales solubles en el suelo, N-NH_4 ($r = 0,9120$) y Ca ($r = 0,8085$); en tanto que Mg presentó una correlación negativa con CE ($r = -0,9608$). Es posible que una fracción importante del Ca y N-NH_4 se encuentre en la solución de suelo, debido a la baja CIC de estos suelos pobres en materia orgánica. El predominio de las sales de Ca acentuaría el antagonismo con Mg, originando las correlaciones negativas entre CE y Mg.

El PMN estuvo directamente relacionado con la liberación de N-NH_4 ($r = 0,9135$) y es significativamente afectado por la actividad enzimática, ya que se observó un efecto positivo de FAL ($r = 0,8326$) sobre PMN y de FAC ($r = 0,9206$) sobre N-NH_4 . Contrariamente, PMN y URE mostraron una correlación negativa ($r = -0,8104$), posiblemente por el agotamiento de los compuestos nitrogenados orgánicos a medida que la mineralización avanza.

La actividad enzimática estuvo significativamente afectada por los nutrientes del suelo. De esta manera se pudo observar que URE fue favorecida por P ($r = 0,9932$), Ca ($r = 0,8713$), N-NO_3 ($r = 0,9115$), Ca/Mg ($r = 0,9155$) y (Ca+Mg)/K ($r = 0,8313$). Estas correlaciones indicaron que hubo un aumento en la actividad de URE debido a la alta concentración de fosfatos de calcio y al predominio del Ca con respecto al resto de las bases intercambiables

en estos suelos. De manera semejante, el incremento de URE condujo a un aumento significativo en la acumulación de $N-NO_3$, seguramente por la alta mineralización de compuestos orgánicos nitrogenados.

Tanto Mg ($r = -0,9274$) como $N-NO_3$ ($r = -0,8043$) mostraron correlaciones negativas con FAC; de manera similar se observaron correlaciones negativas entre Mg ($r = -0,9205$) y $N-NO_3$ ($r = -0,8178$) con FAL, indicando que el aumento en la concentración de nitratos o de Mg en estos suelos tendría un efecto inhibitorio de las enzimas fosfatasa.

En cuanto a las relaciones entre los nutrientes del suelo, se observó que en aquellas zonas donde había altas concentraciones de P, la concentración de K ($r = -0,9145$) y el valor Mg/K ($r = -0,8444$) disminuían significativamente, seguramente asociado al antagonismo originado por los elevados niveles de Ca liberados a partir de los minerales de calcita y de fosfato de calcio en estos suelos. Este antagonismo también explicaría la relación opuesta entre Ca/Mg y (Ca+Mg)/K ($r = -0,9848$). Finalmente, también se destacó que el índice Ca/Mg tuvo una relación proporcional con Ca/K ($r = 0,9247$) en estos suelos.

Por otra parte, el Ca y las interacciones entre las bases intercambiables afectaron negativamente $N-NH_4$ en estos suelos. De esta manera, se pudo observar que $N-NH_4$ disminuía en aquellas zonas donde el contenido de Ca ($r = -0,8485$) y el índice (Ca+Mg)/K ($r = -0,8715$) eran elevados, posiblemente ligado a la reducción en la disponibilidad de Ca debido a la disminución del pH en el suelo originado por la absorción radicular de NH_4^+ y secreción de H^+ .

La granulometría de estos suelos tuvo un efecto importante sobre varias de sus propiedades químicas y biológicas. De esta manera, la textura limosa tuvo un efecto positivo sobre K ($r = 0,8329$), Mg/K ($r = 0,9813$) y C/N ($r = 0,9769$); en tanto que afectó negativamente el contenido de NT ($r = -0,9255$). Estos resultados indicaron que la materia orgánica altamente humificada se encuentra asociada a la fracción limosa de los suelos.

Por otro lado, en las fracciones finas de estos suelos se encuentran micas glauconíticas (filosilicatos hidratados de hierro y aluminio ricos en potasio, magnesio y sodio) de cuyas estructuras se libera K y Mg (Stainforth, 1962). En este orden de ideas, este tipo de minerales micáceos, tienen una alta fijación de nitrógeno (Hardy, 1959), lo cual explicaría la relación negativa entre el contenido de limo de estos suelos y NT.

La fracción arcillosa del suelo mostró una correlación negativa con CO ($r = - 0,8741$) y N-NH₄ ($r = - 0,9310$); esto estaría vinculado a la formación de complejos arcillo-húmicos, causando que los procedimientos rutinarios de laboratorio no puedan digerir en su totalidad el CO ligado a esta materia orgánica altamente humificada; por otro parte, estos complejos arcillo-húmicos son altamente refractarios y protegen a la materia orgánica del ataque de los microorganismos, disminuyendo considerablemente su mineralización y consecuente liberación de N-NH₄.

Finalmente, en las zonas con texturas arenosas se comprobó una disminución del contenido de NT ($r = - 0,9661$) y de N-NH₄ ($r = - 0,9310$), ya que los componentes orgánicos de NT estarían vinculados principalmente a los coloides y minerales ligados a las fracciones finas del suelo; así mismo, los bajos contenidos materia orgánica localizados en la fracción arenosa del suelo reducen significativamente la mineralización y liberación de N-NH₄.

Por otra parte, tal parece que en aquellas zonas con predominio de la granulometría arenosa se favorecieron los procesos de oxidación del nitrógeno orgánico para formar N-NO₃ ($r = 0,9043$), lo cual redundó en un aumento significativo en los valores de pH ($r = 0,8132$) debido a la liberación de iones OH a la solución de suelo, cuando hay absorción radicular de nitratos.

2.3. Relaciones múltiples entre las propiedades del suelo de la zona de Caña Brava.

La agrupación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de estos suelos en componentes principales, facilitaron el análisis de las relaciones entre estos parámetros que definen la fertilidad integral de estos suelos. El 85% de las variaciones de las propiedades de estos suelos fue explicado por cinco componentes principales (tabla 3).

La primera componente (C.P. 1) explicó el 31,81 % de la varianza de las propiedades de los suelos. Esta componente expuso las interacciones entre las propiedades biológicas que influyen en la mineralización de la materia orgánica en estos suelos. Las relaciones significativas englobadas en esta componente indicaron que la actividad de FAC está ligada a la mineralización del nitrógeno orgánico en estos suelos.

Tabla 3. Análisis multivariado por componentes principales de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos cacaoteros en el sector Caña Brava de la Sierra de Perijá.

	C.P. 1	C.P. 2	C. P. 3	C. P. 4	C. P. 5
P	0,2164	0,0598	0,1648	-0,1830	-0,3369
K	-0,3321	0,0499*	-0,0295*	-0,0805	-0,1772
Ca	0,3393	-0,0114*	0,1351	-0,0827	0,0471*
Mg	0,2144	0,1691	-0,0394*	-0,1674	0,2926
Ca/Mg	0,1570	-0,2209	0,2743	0,0934	-0,2377
Ca/K	0,3413	0,0366	-0,0553	-0,0001**	0,1241
Mg/K	0,3207	0,1084	-0,0975	-0,0240*	0,2236
(Ca+Mg)/K	0,3408	0,0478*	-0,0620	-0,0040**	0,1408
pH	0,1001	0,0005**	0,5112	0,0692	0,0515
CE	-0,0811	0,0090**	0,4226	0,1747	0,2959
arena	-0,2880	-0,1810	0,0071**	-0,1529	0,2266
Limo	0,1205	0,1774	-0,0394*	0,2993	-0,3662
Arcilla	0,2746	0,0410*	0,0403*	-0,1585	0,1347
N-NH ₄	0,0275*	-0,0682	-0,2183	-0,5030	-0,1033
N-NO ₃	0,0284*	0,0039**	-0,1577	0,5926	0,0670
PMN	0,0607	-0,0570	-0,3963	0,2864	-0,0098**
RM	-0,2273	0,2362	-0,1245	0,0006**	0,1691
URE	-0,0305*	-0,2908	0,1954	0,0564	0,2298

* p < 0,05

** p < 0,01

Tabla 3. Análisis multivariado por componentes principales de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos cacaoteros en el sector Caña Brava de la Sierra de Perijá. Continuación.

	C.P. 1	C.P. 2	C. P. 3	C. P. 4	C. P. 5
URE	-0,0305*	-0,2908	0,1954	0,0564	0,2298
NT	0,1581	-0,2763	-0,2268	0,0968	0,1059
CO	-0,0144*	0,3978	0,0996	0,1099	0,0307*
C/N	-0,2082	0,3126	0,1138	-0,0886	0,2223
FAC	0,0411*	0,3877	-0,1909	-0,0901	0,0794
FAL	0,0589	0,2130	0,1147	-0,0574	-0,4072
PROPORCIÓN	0,3181	0,2132	0,1333	0,1022	0,0803
PROPORCIÓN ACUMULADA	0,3181	0,5313	0,6647	0,7669	0,8472

* $p < 0,05$

** $p < 0,01$

Por otro lado, el aumento en el contenido de CO favoreció la actividad de la enzima URE, la cual es principalmente segregada por la biomasa microbiana del suelo, en los procesos de mineralización de la materia orgánica (Watson, 2000). Ya trabajos precedentes explicaron que el aporte de fuentes de CO al suelo favorecían el intercambio catiónico, la estructura de la microfauna y los procesos nutricionales, mejorando la absorción de nutrientes en suelos de baja fertilidad e incrementando el rendimiento del cultivo de cacao (Uribe et al., 2009; Sierra, 2008).

Paralelamente se observó que a medida que la materia orgánica es mineralizada hay una alta acumulación de $N-NH_4$ y $N-NO_3$ hasta el agotamiento del sustrato orgánico y por ende la disminución en la actividad de URE.

La segunda componente (C.P.2) expresó el 21,32% de la varianza de los parámetros del suelo. En esta componente se destacaron principalmente las relaciones entre los parámetros físico-químicos del suelo. De esta

manera, en aquellos suelos con una reacción neutra a básica se favoreció la disponibilidad de P y K, la concentración de nitratos y los altos índices Ca/K y $(Ca+Mg)/K$; no obstante, a medida que el pH se hace más básico va disminuyendo la disponibilidad de P y K, por la formación de fosfatos de calcio y por el antagonismo con Ca, respectivamente.

Dado el hecho que el contenido de materia orgánica de estos suelos es muy bajo se evidenció que su capacidad de intercambio catiónico está estrechamente relacionada a la fracción mineral (arcilla), donde se forman los complejos arcillo-húmicos del suelo.

La CE era mayor en aquellas zonas donde hubo una alta disponibilidad de K, $N-NO_3$ y las interacciones Ca/K y $(Ca+Mg)/K$.

La tercera componente (C.P. 3) explicó el 13,33% de la varianza total de los suelos. Aquí se describió las relaciones entre la fracción granulométrica del suelo y el contenido de K y Mg, ya que se observó la mayor disponibilidad de estos elementos en las zonas con predominio de la textura limosa. Como se explicó anteriormente los minerales primarios conteniendo K y Mg son micas glauconíticas asociadas a las fracciones limosas de los suelos (Stainforth, 1962).

La cuarta componente (C.P. 4) expresó el 10,22% de la varianza total de los suelos, explicando el efecto de las interacciones de las bases intercambiables sobre la actividad microbiana del suelo. En las zonas con predominio de los minerales pedogenéticos hay una alta pérdida de materia orgánica debido a los procesos erosivos por las pendientes pronunciadas afectando negativamente la actividad microbiana.

Finalmente, la quinta componente (C.P. 5) describió el 8,03% de la varianza total de los suelos; explicó el efecto negativo de las altas concentraciones de Ca (carbonatos de calcio y fosfatos de calcio) sobre la mineralización del nitrógeno orgánico producto de la disminución de la actividad de los microorganismos según se expuso anteriormente.

Conclusiones

La granulometría franca y franca arenosa predominante en estos suelos y el relieve de pendientes pronunciadas favoreció las pérdidas de suelo, materia orgánica y de nutrientes por lixiviación observados en estos

suelos.

Los suelos con alto contenido de minerales de fosfatos de calcio mostraron mayor disponibilidad de fósforo y calcio, baja disponibilidad de potasio y magnesio y un pobre contenido de carbono orgánico, originando un bajo índice C/N y desfavoreciendo el potencial de mineralización del nitrógeno, la actividad microbiana y enzimática.

El potencial de mineralización del nitrógeno orgánico en estos suelos estuvo favorecido por las enzimas fosfatasas.

El incremento en los niveles de magnesio y nitratos en estos suelos inhibieron la actividad de las fosfatasas; en tanto que la actividad de la ureasa estuvo favorecida por la alta disponibilidad de fósforo, calcio, nitratos e índice C/N.

El pH tuvo un efecto marcado en la disponibilidad de los nutrientes, las interacciones entre las bases intercambiables, la actividad microbiana, la mineralización de nitrógeno orgánico y los procesos de nitrificación.

Referencias

Álvarez-Solís, J. y Anzueto, M. (2004). Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Revista Agrociencia*, 38 (1): 13 – 22.

Armado, A., Contreras, F., García, P. y Paolini, J. (2009). Correlación de actividades enzimáticas con la respiración basal en suelos cacaoteros del occidente venezolano. *Avances en Química*, 2 (4): 73 – 77.

Barriga, S. Ing. Agr.; Menjivar J.C., Ing. Agr. Ph.D. Mite F. (2006). Validación del manejo de la nutrición por sitio específico en una plantación de cacao en la provincia de Guayas, Ecuador.

Campo M., J. (2005). Venezuela se olvida del cacao. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, Nro. 46. <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ve/2005/cjm.htm>

Cerda, R. (2008). Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el valle de Talamanca, Costa Rica. Tesis Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación. Escuela de posgrado. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 2008. 66 p.

Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO) (2012). Base de datos de estadísticas agrícolas. <http://fedegro.org/produccion/Rubros.asp>

Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH) (1975). *Atlas Inventario Nacional de Tierras. Región Lago de Maracaibo*. Tecnicolor S. A. Caracas, Venezuela. 275 p.

Contreras, F., Rivero, C. y Paolini J. (1995). Efecto de la incorporación de residuos orgánicos y dos tipos de labranza sobre la actividad de la ureasa en un alfisol. *Revista Venesuelos* (1): 2 - 6.

Flores, S., Chacón N., Rangel M. y Dezzee, N. (2005). Actividad enzimática en suelos de un gradiente de bosque estacionalmente inundable en la parte baja del río Orinoco implicaciones de la estacionalidad. Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadeSolo/pdf/resumos/Painel4_FloresS.pdf

Gómez, Y. y Paolini, J. (2003). Actividad microbiana en suelos de sabanas de los Llanos Orientales de Venezuela convertidas en pasturas. *Rev. Biol. Trop.*, 54 (2): 273 - 285.

Hardy, F. (1959). La relación carbono nitrógeno en los suelos de cacao. Turrialba (IICA),9 (1): 4-11.

López, M., López I., España. M., Izquierdo. A, Herrera. L. (2007). Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrícicos arburculares en plantaciones de *theobroma cacao*. *Agronomía Trop*, 1 (57): 6 – 26.

López-Hernández, D., Infante, C. y Medina, E. (2005). Balances de elementos en un agroecosistema de caña de azúcar: I. Balance de nitrógeno. *Tropicicultura*, 23 (4): 212 - 219.

Martínez, H. (1972). Mineralización del nitrógeno en suelos bajo el cultivo de cacao. Tesis Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. Centro de Enseñanza e Investigación. Departamento de cultivos y suelos tropicales. Turrialba, Costa Rica. 85 p.

Meléndez, G. 1997. Transformaciones de Carbono, Nitrógeno y Fósforo del suelo en sistemas forestales, cultivos anuales y bosque natural. Tesis Mag. Sc. Universidad de Costa Rica. 105 p.

Portillo, E.; Martínez E; Araujo F.; Parra R.; Esparza D. (1994). Diagnóstico Técnico-Agronómico para el Cultivo Cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Sur del

Lago de Maracaibo. Facultad de Agronomía de LUZ. Estado Zulia, Venezuela.

Quintero, M. y García, L.(2010). La producción de cacao en Venezuela: Hacia un nueva ruralidad. *Actualidad Contable* FACES, Nro.20: 114-123.

SAS Institute Inc. 1991. SAS/STAT Software and User`s guide. Versión 8.01.

Sierra, F.L. (2008). Evaluación de biofertilizantes orgánicos en cacao (Theobroma cacao L.) en el Municipio Comalcalco, Tabasco, México. Instituto Tecnológico de la zona Olmeca. Tabasco.

Stainforth, W. V. (1962). Some new stratigraphic units in western: Venezuela. Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo. 5:279 – 282. <http://www.pdvsa.com/lexico/t430w.htm>

Uribe, A., Méndez H. y Mantilla J. (2009). Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander. *Revista Suelos Ecuatoriales*, Nro. 28:31-36.

Vera, M., Rosales, H. y Ureña, N., (2000). Caracterización físico-química de algunos suelos cacaoteros de la zona sur del lago de Maracaibo, Venezuela. *Rev. Geog. Venez.*, 41(2): 257 - 270.

Watson, C.J. (2000). Urease activity and inhibition. Principles and practice. The International Fertiliser Society. Proceeding N° 454. 39 p