

Variabilidad espacial de la fertilidad de los suelos agroforestales en la Sierra de Perijá, municipio Rosario de Perijá

*María, Moreno**
*Martha, Medina**
*Nixon, Molina***
*Jesús, Díaz**

RESUMEN

Con el propósito de determinar las características de fertilidad de los suelos del sistema agroforestal del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá (Zulia, Venezuela), se tomaron muestras de suelos a 20 cm de profundidad, las cuales fueron georeferenciadas con GPS. Se determinó el potencial de mineralización del nitrógeno, actividad enzimática, respiración microbiana, pH, textura, conductividad eléctrica, carbono orgánico, nitrógeno total, amonio, nitrato, C/N, fósforo disponible y bases intercambiables. Se realizaron análisis geoestadísticos y mapas de distribución espacial por medio de la interpolación con la técnica de krigage. Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos mostraron una alta variabilidad espacial, a excepción del pH que tuvo una menor variación espacial. La distribución espacial de respiración microbiana, C/N, potasio y el contenido de arena describieron patro-

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

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

nes similares. Calcio y el contenido de arcilla presentaron una distribución espacial muy diferente a los anteriores.

PALABRAS CLAVE: Producción agroforestal, fertilidad del suelo, variabilidad espacial, agricultura de precisión, mapas de fertilidad.

Spatial Variability of Agroforestry Soil Fertility in the Perijá Mountain Range, Rosario de Perija Municipality

ABSTRACT

In order to determine soil fertility characteristics for the agroforestry system in the Caña Brava sector of the Perijá mountain range (Zulia, Venezuela), samples of soil were taken at 20 cm depth, which were geo referenced with GPS. The mineralization potential for nitrogen, enzymatic activity, microbial respiration, pH, texture, electrical conductivity, organic carbon, total nitrogen, ammonium, nitrate, C/N ratio, available phosphorus and interchangeable bases were determined. Geostatistical analysis and spatial distribution maps were created using interpolation with the krigage technique. Physical, chemical and biological properties of the soils showed high spatial variability, except for pH, which had a lower spatial variation. The spatial distribution of microbial respiration, C/N, potassium and sand content described similar patterns, while calcium and clay content showed a spatial distribution quite different from the previous.

KEYWORDS: Agroforestry production, soil fertility, spatial variability, precision agriculture, fertility maps.

Introducción

La producción agroforestal en la Cuenca del Lago de Maracaibo, desarrollada en la Sierra de Perijá, responde a sistemas de producción tradicionalistas, poco tecnificados, con baja aplicación de insumos agrícolas, y por ende, obteniéndose bajos rendimientos, que generan pocos excedentes en la producción agrícola para la comercialización en los mercados lo-

cales. En la actualidad, se han establecido pequeñas parcelas agrícolas, en algunas áreas de la Sierra de Perijá perteneciente al municipio Rosario de Perijá, donde se han desarrollando diversos cultivos de subsistencia, tales como maíz, frutales y algunos hortícolas; sin embargo, con el apoyo de un programa financiero gubernamental se ha promocionado la producción de cacao en estas zonas forestales con fines de comercialización, por lo que se debe garantizar altos rendimientos, los cuales son significativamente bajos en Venezuela ($418 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), en comparación con el promedio mundial (FEDEAGRO, 2013).

De esta manera, es importante la gestión de los recursos naturales y de producción a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para aplicar un paquete tecnológico adaptado a los distintos agrosistemas de producción agroforestal, los cuales generalmente incluyen la producción integral de varios cultivos dentro de una misma parcela (Campo, 2005). Uno de los aspectos primordiales para los SIG de estos sistemas agroforestales es conocer las características físicas y bioquímicas de los suelos y el reciclaje de nutrientes que determinan la fertilidad de los mismos (Cerde, 2008), afectando la respuesta de los cultivos a la aplicación de cualquier práctica agronómica, entre ellas la fertilización. Los planes de fertilización en estos sistemas agroforestales deben tener en cuenta un manejo racional de los agroquímicos, ya que se trata de un área donde se localizan importantes fuentes de agua, así como las nacientes de muchos caños y ríos de la Cuenca del Lago de Maracaibo, por lo que se debe evitar la contaminación de suelos y acuíferos.

Esta investigación tuvo como propósito principal determinar las características de fertilidad de los suelos para la producción agroforestal de cultivos en la Sierra de Perijá, con el fin de realizar un manejo sitio-específico de la fertilización de los mismos, sin perjuicio de este frágil medio agroecológico.

1. Materiales y metodología

El área de estudio estaba constituida por parcelas de aproximadamente ocho hectáreas ubicadas en el sector Caña Brava de la Sierra de Perijá, en el municipio Rosario de Perijá. La precipitación de la zona varía entre 1200-2000 mm anuales y temperaturas entre 26-28 °C. Los suelos que predominan son Inceptisoles (Tropets) asociados con Entisoles (Orthents) distribuidos discontinuamente en el área de estudio (COPLANARH, 1975).

Las parcelas estaban divididas en conucos con cultivos diferentes como frutales, cambures y plantaciones jóvenes de cacao criollo (menores a tres años) principalmente, establecidos entre la vegetación forestal de la zona. Se tomaron muestras de suelos georeferenciadas en forma aleatoria de las parcelas a 20 cm de profundidad. La georeferenciación se realizó con GPS tipo Garmin. Las muestras se dividieron en dos partes: una parte se almacenó a 4°C para determinar los parámetros biológicos de los suelos; la otra parte, se secó al aire y se tamizó a 2 mm para establecer las propiedades físico-químicas de los suelos. Entre los parámetros biológicos del suelo, se midieron la respiración microbiana por evolución del CO₂, el potencial de mineralización del nitrógeno por incubación del suelo y extracción de nitratos con KCL 1N, la ureasa por incubación del suelo con una solución de úrea, a 37 °C por una hora, y la fosfatasa ácida y alcalina por transformación del p-nitrofenol a p-nitrofenil y lectura por colorimetría. Las características físico-químicas evaluadas fueron la textura por Bouyoucos, pH y la conductividad eléctrica medidas en suspensión 1:2,5 suelo: agua, carbono orgánico por Walkley-Black, nitrógeno total por Kjehdahl, fósforo disponible por Olsen y potasio, calcio y magnesio disponibles por el método de Morgan modificado. Además se calcularon las relaciones C/N, K/Ca, K/Mg y (Ca+Mg)/K.

Las estadísticas descriptivas de las variables medidas se realizaron con SAS v. 8.01 (SAS, 1991). El programa geoestadístico GS⁺ (Robertson, 2000) fue utilizado para llevar a cabo los análisis espaciales y obtener los mapas para el manejo sitio-específico de la fertilidad de los suelos, por interpolación de las observaciones georeferenciadas empleando la técnica de krigage.

2. Resultados y discusión

La textura de los suelos fue predominantemente franca y en algunos sectores franco-arenosos, con pH ligeramente ácido a neutro, tenores de medios a bajos de CO, NT y Mg, en tanto que los contenidos de P, K y Ca fueron de medios a altos (cuadro 1). Estas características químicas tienen su origen en el material parental de estos suelos pertenecientes a las formaciones geológicas Colón (subgrupo Cogollo), La Luna (miembro Tres Esquinas) y Río Negro, los cuales son ricos en minerales calcáreos, fosfáticos, feldespáticos y piritas, entre otros (Stainforth, 1962).

CUADRO 1. Características físicas y químicas de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

	Media	Desviación Estándar	Error Estándar	CV (%)	Mín.	Máx.	Rango
pH (1:2,5)	6,58	0,47	0,08	7,09	5,90	7,60	1,70
CE (1:2,5 dS.m ⁻¹)	0,05	0,02	0,00	29,70	0,03	0,09	0,06
CO (%)	1,06	0,44	0,08	41,20	0,13	1,86	1,73
NT (%)	0,48	0,41	0,08	86,86	0,129	1,491	1,43
C/N	3,41	2,51	0,48	73,63	0,18	7,75	7,41
P (ppm)	91,00	51,81	9,79	56,93	8,00	184,00	176,00
K (mg.Kg ⁻¹)	113,27	75,41	13,77	66,58	25,00	289,00	264,00
Ca (mg.Kg ⁻¹)	318,58	110,41	19,83	34,66	104,00	531,00	427,00
Mg (mg.Kg ⁻¹)	38,41	14,56	2,70	37,90	12,00	67,00	55,00
Ca/Mg	4,77	1,94	0,35	40,72	1,60	8,66	7,06
Ca/K	5,95	5,04	0,97	73,38	0,93	20,45	19,52
Mg/K	1,65	1,33	0,24	80,68	0,21	4,40	4,19
(Ca+Mg)/K	8,82	6,7	1,24	76,01	1,29	23,90	22,61
Arena (%)	42,29	8,66	1,61	20,48	29,60	58,80	29,20
Limo (%)	39,82	6,99	1,30	17,55	27,20	53,60	26,40
Arcilla (%)	18,31	5,83	1,05	31,86	7,60	27,60	20,00

En general, las propiedades de los suelos mostraron una alta variabilidad en el área de estudio, a excepción del pH que mostró el más bajo coeficiente de variación (CV=7,09 %), seguido por el contenido de arena y de limo cuyos coeficientes de variación fueron menores al 20%. Estos resultados indicaron que el pH, arena y limo de estos suelos poseen distribución espacial más o menos uniforme en el terreno. Contrariamente, el resto de las propiedades químicas evaluadas presentaron una alta variabilidad en el área, con coeficientes de variación que oscilaban alrededor del 40% para CE, textura, Ca, Mg, Ca/Mg y CO, y superior al 50% para NT, P, K, Ca/K, Mg/K y (Ca+Mg)/K. Estos resultados coinciden con los encontrados en suelos agrícolas con aporte de materia orgánica en forma periódica previo al inicio de los ciclos de producción (Moreno, 2009).

Las propiedades biológicas mostraron un comportamiento similar al de la mayoría de las propiedades físico-químicas en estos suelos (cuadro 2). El PMN, N-NH₄, URE y FAC presentaron coeficientes de variación inferiores al 40%, mientras que RM, N-NO₃ y FAL mostraron altos índices de variación en el terreno.

Además de los altos coeficientes de variación de la mayoría de las propiedades de estos suelos, el análisis espacial evidenció un comportamiento aleatorio del PMN, la actividad enzimática, CO, NT, P, Mg, pH, Ca/K y (Ca + Mg)/K; en tanto que RM, C/N, K, Ca, Mg/K y las fracciones arenosas y arcillosas mostraron una dependencia espacial. El comportamiento espaciales de muchas propiedades de los suelos en los sistemas agroforestales, es afectada por factores como la pendiente, topografía, precipitaciones, deposición de materiales orgánicos, lixiviación, etc. (Cerdeña, 2008). En este caso, el comportamiento espacial de las propiedades de estos suelos probablemente está asociado a las diferencias agroclimáticas, los procesos de erosión y degradación identificados en este sistema agroforestal montañoso con pendientes variables (figura 1).

CUADRO 2. Características biológicas de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

	Media	Desviación Estándar	Error Estándar	CV (%)	Mín.	Máx.	Rango
RM (mg CO ₂ .Kg ⁻¹ .d ⁻¹)	14,35	8,918	1,716	62,14	2,37	36,78	34,40
N-NH ₄ (mg N-NH ₄ .Kg ⁻¹)	33,80	12,090	2,418	35,76	7,77	57,23	49,46
N-NO ₃ (mg N-NO ₃ .Kg ⁻¹)	27,44	16,492	3,174	60,11	0	58,14	58,14
PMN (mg N.Kg ⁻¹)	60,32	11,058	2,128	18,33	38,84	76,87	38,03
URE (μg N-NH ₄ .g ⁻¹ .h ⁻¹)	79,59	28,43	5,58	35,73	28,72	135,63	106,91
FAC (μg PNP.g ⁻¹ .h ⁻¹)	237,79	70,74	14,75	29,75	118,59	364,24	245,65
FAL (μg PNP.g ⁻¹ .h ⁻¹)	208,21	109,13	22,28	52,41	3,00	370,56	367,59

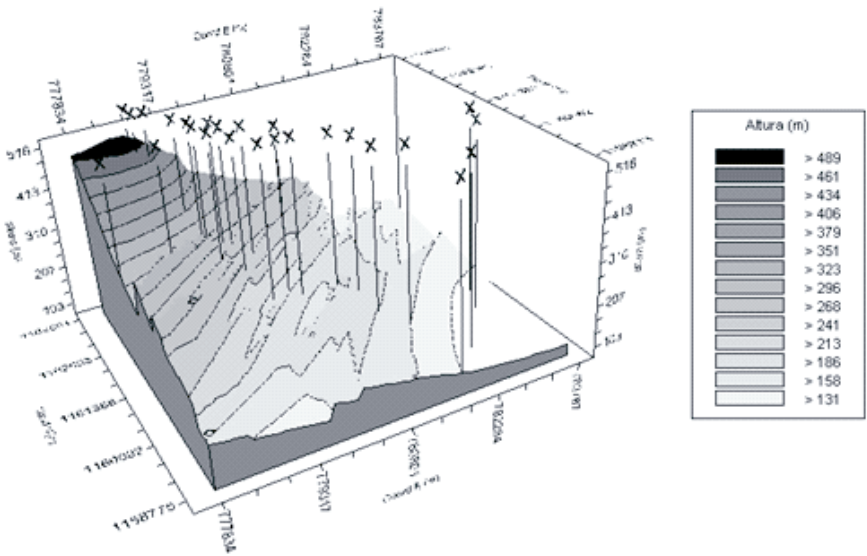


FIGURA 1. Modelo digital de elevación del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá, municipio Rosario de Perijá del estado Zulia

La estructura espacial de RM, C/N, Mg/K, Ca y las fracciones arenosas y arcillosas fue explicada por modelos matemáticos esféricos y la del K fue ajustada a un modelo exponencial; además mostraron un comportamiento espacial dependiente de la dirección y la altitud del terreno (anisotropía). Trabajos precedentes en paisajes de colinas y montañas concluyeron que el movimiento de suelos y agua desde las zonas altas y su acumulación en las zonas bajas, originan variaciones importantes en la fertilidad del suelo, la respuesta de los cultivos a las aplicaciones fertilizantes y su rendimiento (Roberts, 2000).

Se observó que RM, C/N, K, Mg/K y la fracción arenosa tenían una mayor dependencia espacial en la dirección de 31° azimuth; en tanto que el Ca y el contenido de arcilla mostraron el mayor eje de anisotropía en la dirección del ángulo formado a los 82° azimuth. Esto demuestra que las propiedades de estos suelos tienen patrones espaciales diferentes, y por tanto los modelos de distribución espacial han sido ajustados a estos ejes de mayor anisotropía, para exponer con mayor precisión las variaciones de la fertilidad en el área de estudio.

Los distintos modelos generados para las propiedades del suelo con dependencia espacial están resumidos en el cuadro 3. El comportamiento espacial de las propiedades de estos suelos ha sido descrito por modelos esféricos, a excepción de K cuya distribución espacial ajustó mejor con un modelo exponencial.

Según los valores estimados del *efecto pepita* o *nugget* (Co) en los modelos de distribución espacial, la textura de estos suelos y las bases intercambiables mostraron una amplia variabilidad espacial a corta distancia, tal como lo describieran precedentemente los coeficientes de variación de estas propiedades. La mayoría de las variables regionalizadas mostraron una fuerte dependencia o estructura espacial (78, 7-87,2 %), sin embargo las propiedades biológicas RM y C/N mostraron una dependencia espacial equiparable a su comportamiento aleatorio (alrededor del 50 %). Esta situación se explicaría en que las propiedades biológicas del suelo son fuertemente influenciadas en su distribución espacial por los patrones de deposición de la materia orgánica y la humedad de los suelos, los cuales tienen una alta variabilidad en el terreno (Moreno, 2009).

El *rango* de dependencia espacial (Ao) estuvo alrededor de 10.000 m, a partir del cual estas propiedades del suelo tienen un comportamiento aleatorio, a excepción de K, cuyo rango fue menor que 2.000 m, probablemente por la alta variabilidad espacial originada por la distribución en el terreno de los minerales feldespáticos ricos en potasio (Stainforth, 1962).

CUADRO 3. Semivariogramas de las propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

Variable	Modelo	Co	Co + C	C/Co + C	Ao	R ²	RSS
RM	Esférico	0,000340	0,01483	0,510	10110,00	0,860	9,63E-06
C/N	Esférico	4,450	9,088	0,510	10110,00	0,415	8,42
K	Exponencial	1000,000	7829,000	0,872	1993,00	0,941	1,78E+06
Mg/K	Esférico	0,260	1,743	0,850	10110,00	0,714	0,25
Ca	Esférico	5310,000	27780,000	0,808	10110,00	0,827	2,99E+07
arena	Esférico	30,100	195,500	0,846	10104,00	0,899	869,00
Arcilla	Esférico	15,100	71,200	0,787	9489,00	0,727	392,00

Los valores de RM expusieron que la actividad microbiológica tenía una alta variabilidad en estos suelos, oscilando entre 2,4-36,8 mg CO₂·Kg⁻¹·d⁻¹; estos resultados fueron semejantes a los reportados en suelos de sabanas arbóreas y bosques de galería del estado Aragua (Sánchez *et al.*, 2005) y en sistemas agroforestales en Costa Rica y México (Cerdea, 2008; Álvarez y Anzueto, 2004). La actividad microbiana registrada es relativamente baja en comparación con aquella reportada normalmente en suelos tropicales (Cerdea, 2008), originada por lo bajos contenidos de materia orgánica de estos suelos que limitan la disponibilidad de sustrato orgánico para la actividad microbiológica, originando posibles deficiencias nutricionales que afectarían el rendimiento de los cultivos (Uribe *et al.*, 2009); los trabajos de Armado *et al.* (2009) expusieron resultados semejantes en suelos con bajo contenido de materia orgánica cultivados con cacao en los estados Mérida y Zulia (Venezuela). De igual manera, Sánchez *et al.* (2005), reportaron una mayor RM en los suelos con alto contenido de CO en sabanas arbóreas y bosques de galería del estado Aragua (Venezuela).

En este orden de ideas, los mapas de distribución espacial (figuras 2 y 3) evidenciaron patrones espaciales similares entre la actividad microbiana y C/N de estos suelos. De hecho, los análisis de correlación entre las propiedades de estos suelos (datos no publicados), demostraron que hay una relación positiva (p 0,05) entre la RM, CO y C/N.

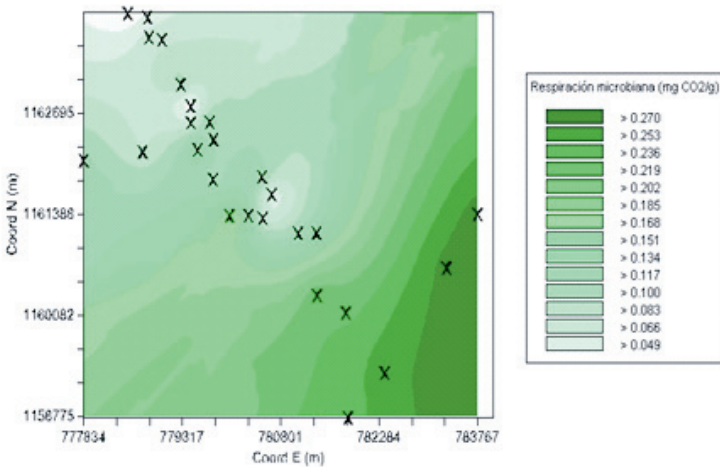


FIGURA 2. Distribución espacial de la actividad microbiana de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

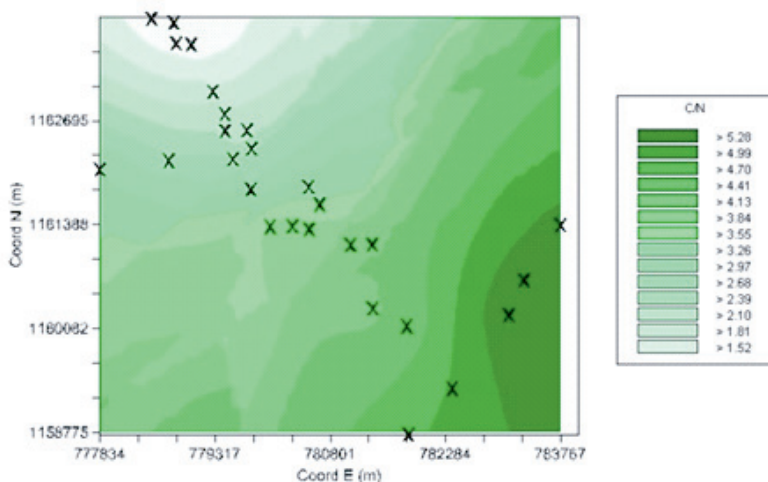


FIGURA 3. Distribución espacial de C/N de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

La actividad microbiana y C/N fueron significativamente muy bajos en las zonas con mayor altitud del área de estudio, en tanto que en las zonas bajas se observó un aumento de los mismos, llegando RM hasta valores considerados óptimos ($> 26,0 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$). Estas variaciones espaciales habrían sido originadas por el movimiento de suelos y materiales desde las zonas altas depositándose en las bajas (Roberts, 2000), así como por el poco aporte de materia orgánica debido a la deforestación de las parcelas para establecer cultivos y la presencia de minerales de calcita presentes en las zonas altas.

Los bajos valores de C/N evidenciarían que el poco material orgánico incorporado al suelo por los aportes foliares de las especies forestales de la zona, presentaba poco nivel de humificación, debido a la baja actividad microbiana. Se distingue entonces la necesidad de incorporar fuentes orgánicas al suelo en forma periódica, especialmente en las zonas altas, para disminuir las pérdidas de suelos, elevar la disponibilidad de sustrato orgánico que favorezcan la actividad microbiana y el reciclaje de nutrientes, mejorando la fertilidad de los suelos (Cerda, 2008).

La distribución espacial de RM mostró patrones diferentes con respecto a las bases intercambiables; de esta manera, los mapas mostraron similitudes en los patrones de distribución espacial de RM y K, en tanto que se observó un comportamiento casi opuesto para aquellos descritos por

RM y Ca (figuras 4 y 5). Estos resultados también fueron respaldados por las correlaciones ($p < 0,05$) positivas observadas entre RM y C/N con K, así como también por las relaciones negativas ($p < 0,05$) de RM y C/N con Ca, Ca/K, Mg/K y (Ca+Mg)/K (datos no publicados); cabe señalar que las correlaciones negativas encontradas entre RM y Ca en este estudio, fueron opuestas a aquellas reportadas en investigaciones precedentes en suelos agroforestales (Cerdeira, 2008; Álvarez y Anzueto, 2004).

Es obvio que en las zonas de mayor altitud se encuentran elevadas concentraciones de Ca debido a la presencia de minerales de fosfatos de calcio y calcitas dentro del material parental (Stainforth, 1962); estas concentraciones de Ca van disminuyendo hacia las zonas bajas del área de estudio. Caso contrario, la disponibilidad de K era mayor en las zonas bajas donde había una menor concentración de Ca, debido a las relaciones antagónicas entre estos dos elementos que afectan su disponibilidad en el suelo. Del mismo modo, los valores más bajos de Mg fueron observados en estas zonas ricas en minerales de Ca.

Las marcadas variaciones en la concentración de Ca y K en las zonas más altas y bajas del área estudiada, respectivamente, han originado valores de Ca/Mg ($\geq 8,0$), Ca/K (< 15), Mg/K (< 8) y (Ca+Mg)/K (< 20), que

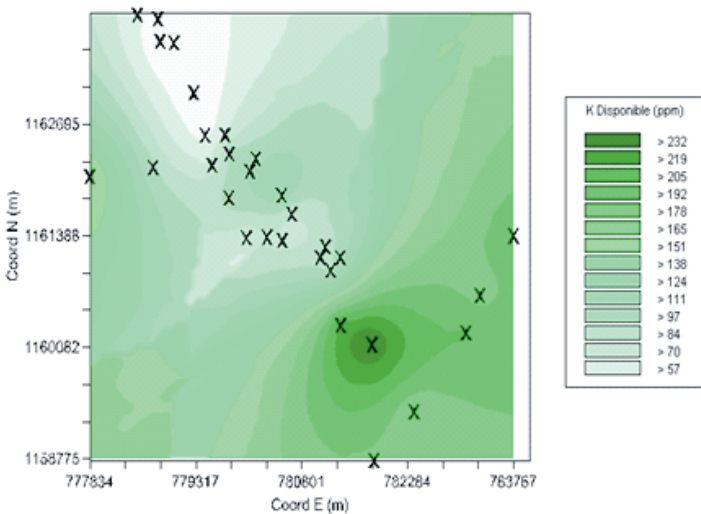


FIGURA 4. Distribución espacial del potasio de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

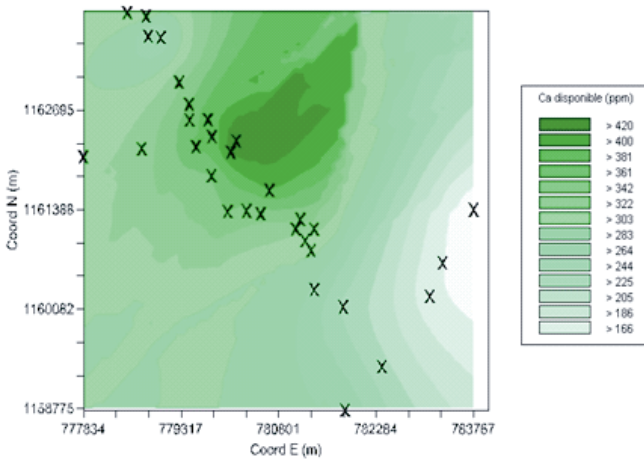


FIGURA 5. Distribución espacial del calcio de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

revelan desequilibrios que afectarían la adecuada disponibilidad de estos nutrientes para los cultivos.

Los bajos contenidos de CO que producen una baja actividad microbiana en estas zonas ricas en calcitas y fosfatos de calcio, dejan claro que las aplicaciones periódicas de fuentes orgánicas en estas parcelas de producción agroforestal, deben estar acompañadas de fuentes fertilizantes que aporten K, así como Mg y micronutrientes, de tal manera de mejorar su disponibilidad para los cultivos establecidos.

Según el análisis espacial la disminución en la actividad microbiana en las zonas con altos contenidos de calcitas y fosfatos de calcio, harían presumir una subsecuente disminución en la actividad enzimática en estas áreas. Sin embargo, por un lado, Contreras *et al.* (1992) encontraron una elevada actividad de la ureasa en suelos con presencia de carbonatos de calcio, mientras que Yoshioka *et al.* (2006) obtuvieron correlaciones positivas entre la actividad de la fosfatasa alcalina y los contenidos de fósforo disponible en plantaciones agroforestales de café asociado con plátano. Cabe señalar que los valores de la actividad de la ureasa y de las fosfatasa de los suelos evaluados en este trabajo fueron normales y hasta superiores que aquellos reportados por otros trabajos de investigación en la Cuenca del Lago de Maracaibo y en sistemas agroforestales (López *et al.*, 2007; Armado *et al.*, 2009).

Tal como lo muestran los mapas obtenidos (figuras 6 y 7), la granulometría del suelo expuso patrones opuestos en la distribución espacial de las arcillas y las arenas. Se observó que en las zonas altas del área de estudio los suelos poseen mayor contenido de arcilla que en las zonas bajas.

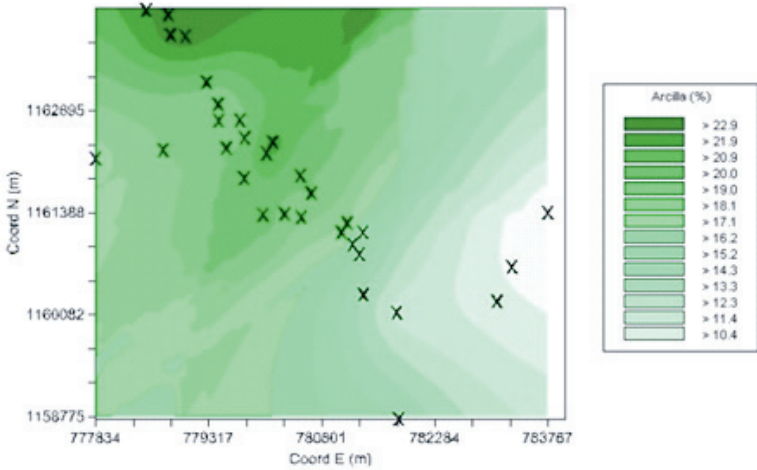


FIGURA 6. Distribución espacial de la arcilla de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

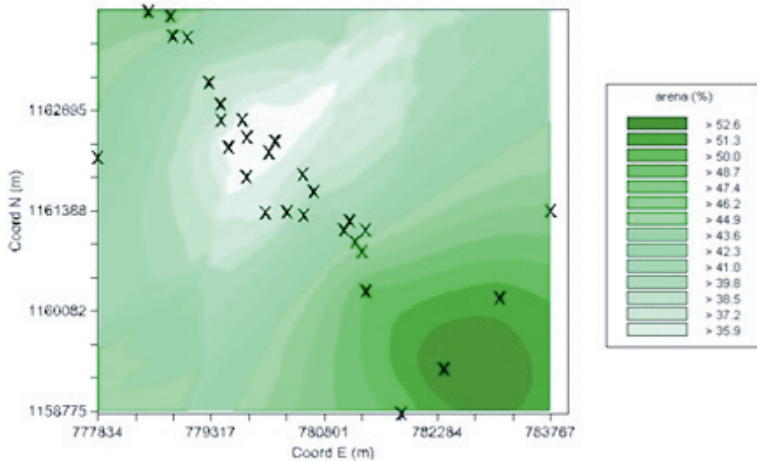


FIGURA 7. Distribución espacial de la arena de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

Esto evidencia que los cultivos de las zonas bajas tendrán mayor demanda de agua y riegos más frecuentes en las épocas de sequía; por otra parte, el predominio de las fracciones arenosas en estas zonas determina menor contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo.

Estas variaciones en la distribución de la granulometría originarían diferencias en los contenidos de humedad, el potencial de mineralización del nitrógeno y la actividad microbiana en estos suelos. En este sentido, es importante destacar que se han encontrado correlaciones positivas entre el contenido de humedad de suelos forestales y la mineralización del nitrógeno orgánico (Prasolova *et al.*, 2000).

El patrón de distribución espacial de las arcillas evidenció que en las zonas con predominancia de esta fracción granulométrica, había una disminución de la actividad microbiana; esto fue confirmado por las correlaciones negativas ($p < 0,05$) observadas entre RM y el contenido de arcilla de estos suelos (datos no publicados). La disminución de la actividad microbiana en aquellas zonas con mayor contenido de arcillas en el suelo, estaría asociado a la formación de complejos arcillo-húmicos estables que protegen a la fracción orgánica de los procesos de mineralización-inmovilización microbiológica.

Conclusiones

Los coeficientes de variación calculados expusieron una distribución espacial muy heterogénea de las propiedades físico-químicas de estos suelos, siendo el pH el que mostrara el más bajo coeficiente de variación.

La distribución espacial de la actividad microbiana, C/N, K y la fracción arenosa describieron patrones similares en estos suelos, y opuestos a aquellos descritos por Ca y el contenido de arcilla.

El análisis espacial mostró una relación estrecha entre la actividad microbiana y CO de estos suelos, así como los desequilibrios en la disponibilidad de las bases intercambiables, por las diferencias en la distribución espacial de Ca y K en estos suelos.

La granulometría de estos suelos mostró diferencias significativas en la distribución de las fracciones arcillosas y arenosas, afectando la actividad microbiana de los mismos.

Referencias

- Álvarez-Solís, J. y Anzueto-Martínez, M. (2004). Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *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*, 4 (2): 73-77.
- Campo, 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. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación. Escuela de Postgrado. Turrialba, Costa Rica, 66 p.
- 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. (1992). Efecto de la incorporación de residuos orgánicos y dos tipos de labranza sobre la actividad de la ureasa en un alfisol. *Revista Venesuelos* 3(1):2-6.
- Federación de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO). 2013. <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp>
- López, M., López, I., España, M., Izquierdo, A. y Herrera, L. (2007). Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrícicos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao*. *Agronomía Trop.*, 57 (1): 85-92.
- Moreno, M. (2009). Efecto de la distribución espacial de las propiedades edáficas sobre el manejo de la fertilidad de dos suelos agrícolas. *Rev. Científica UDO Agrícola* 9 (4): 21-32.
- Prasolova, N. V., Xub, Z. H., P.G. Safagnaa, P. G. and Dieters, M. J. (2000). Spatial-temporal variability of soil moisture, nitrogen availability indices and other chemical properties in hoop pine (*Araucaria cunninghamii*) plantations of subtropical Australia. *Forest Ecology and Management* 136: 1-10
- Roberts, T. (2000). Manejo sitio específico de nutrientes-Avances en aplicaciones con dosis variable, INTA. <http://www.elsitioagricola.com/articulos/roberts/Manejo%20Sitio%20Especifico%20de%20Nutrientes.asp>

- Robertson, G. (2000). *Geostatistics for the Environmental Science. GS⁺ User's Guide. Version 5.1*, Gamma Design Software.
- Sánchez, B., Ruiz, M. y Ríos, M. (2005). Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Trop.* 55(4): 507-534.
- SAS Institute Inc. (1991). *SAS/STAT Software and User's guide. Versión 8.01*.
- 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.
- Yoshioka, I., Sánchez, M. y Bolaños, M. (2006). Actividad de fosfatasa ácida y alcalina en suelo cultivado con plátano en tres sistemas de manejo. *ACAG*, 55 (2): 1-8. http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/211/512#_ftnref1.