

Variabilidad espacial edáfica en el sistema tradicional de conucos en el Amazonas de Venezuela

A. Hernández¹, L. Lugo^{2,4*}, A. Mora Garcés³, J. Sánchez⁴ y E. Arends³

¹ *Cátedra de Conservación. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Vía Chorros de Milla. Conjunto Forestal. Apdo. 5101. Mérida. Estado Mérida-Venezuela*

² *Manejo Múltiple de Ecosistemas Forestales. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Vía Chorros de Milla. Conjunto Forestal. Apdo. 5101. Mérida. Estado Mérida-Venezuela.*

³ *Genética y Silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Vía Chorros de Milla. Conjunto Forestal. Apdo. 5101. Mérida. Estado Mérida-Venezuela*

⁴ *Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE). Camí de la Marjal, s/n. Apartado Oficial 46470 Albal (Valencia). España*

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal analizar la variabilidad espacial de algunos atributos químicos y físicos, mediante técnicas geoestadísticas, en dos suelos, un conuco recién talado y quemado y un rastrojo de 12 años, ubicados en la comunidad Coromoto de Cuao, de la reserva forestal Sipapo, Estado Amazonas-Venezuela. En cada sitio se estableció una parcela de 20 × 20 m y se marcaron puntos para la toma de las muestras cada 5 m en dos direcciones perpendiculares entre sí, resultando una red de puntos para formar un cuadrado reticulado de 25 puntos de muestreo. Las muestras se tomaron a una profundidad entre 0 y 20 cm y se les ubicó espacialmente a través de un eje de coordenadas imaginario *X* e *Y* para análisis de semivariogramas y estimaciones de mapas con Kriging. Los suelos del área se clasificaron como Cambisol Dístico (Typic Dystrusteps), caracterizados por una baja fertilidad natural, evidenciada a través de alta acidez, bajos contenidos de materia orgánica, bases cambiables, nitrógeno, fósforo y alto contenido de aluminio. Igualmente se demuestra que la quema afecta a la variabilidad espacial de los atributos de los suelos analizados en este trabajo, es decir, que de algún modo favorece la continuidad espacial a distancias más cercanas, mientras que en los suelos que han permanecido en reposo durante cierto tiempo, la sucesión de la vegetación promueve mayor diversidad de valores (microhábitats) a distancias más cercanas.

Palabras clave: suelos del Amazonas, sistemas de conucos, variabilidad espacial, geoestadística.

Abstract

Spatial variability of soils under a slash-burn cultivation system in Amazonas-Venezuela

This paper analyzes, by geostatistical methods, the spatial variability in soil properties between two contrasting soils: under a recently slashed and burned cultivation system and another one 12- year old secondary forest after slash-burn. The soils are located in a Piaroa Community, Sipapo Forestry Reserve, State of Amazonas-Venezuela. In each field was settled a plot of 20 × 20 m and soil samples were taken approximately 5 m apart from each other with a depth from 0 to 20 cm. The data were located spatially in X-Y coordinates for semivariography and mapping by Kriging. The soil of the area was classified as Cambisol Dístico (Typic Dystrustep), characterized by a low natural fertility, evidenced through high acidity, low content of organic matter, and very low of calcium, potassium, magnesium, sodium and phosphorus, and high content of aluminium. It was demonstrated that the burning affects the spatial variability of the soils attributes analyzed in this investigation, that is to say, somehow favors the space continuity at nearer distances, while in soils that have remained in rest during a certain time, succession on vegetation promotes a bigger diversity of values (different microhabitats) at nearer distances.

Key words: Amazonian soils, slash-burn cultivation system, spatial variability, geostatistics.

* Autor para la correspondencia: suelo60@hotmail.com
salinas@ula.ve

Introducción

La región amazónica posee una considerable e importante diversidad en tipos de clima, sustratos geológicos, geoformas, vegetación y suelos. Precisamente, los suelos de la Amazonía Venezolana ofrecen muy poco para sustentar un desarrollo de sistemas agrícolas y forestales convencionales, y es debido fundamentalmente a su pobreza en atributos químicos y físicos, como resultado de la estabilidad geológica y altas precipitaciones y temperaturas, originando un *status* nutricional pobre de los suelos, que se exceptúa ligeramente en los primeros centímetros de la superficie, donde se mantiene un nivel más elevado de fertilidad, producto de un frágil y cerrado ciclo de nutrientes en el ecosistema, originando suelos con fertilidad natural muy baja restringida, evolucionados (Oxisoles, Ultisoles y en baja proporción Inceptisoles y Entisoles respectivamente), que combinados con la topografía y el drenaje, limitan severamente las posibilidades de uso (García, 1994; Franco y Dezzeo, 1994).

Al sur de la capital del Estado Amazonas, en la Reserva Forestal Sipapo, se encuentra la comunidad indígena Coromoto de Cuao, perteneciente a la etnia Piaroa. Esta comunidad depende principalmente de los productos agrícolas que se cosechan en los conucos, así como de aquellos provenientes de la recolección del bosque natural. El establecimiento del conuco está condicionado a la estacionalidad climática, comenzando en la época seca (diciembre-marzo) con la deforestación y quema, sobre una superficie que varía entre 0,5-2 ha aproximadamente, seguido de la siembra de los diferentes rubros al inicio de las lluvias (finales de marzo-principios de abril). Los productos que se cultivan son principalmente yuca amarga (*Manihot esculenta*) para la elaboración de cazabe y mañoco, maíz (*Zea mays* L.), y piña (*Ananas cosmosus*), y especies nativas del bosque como pijiguao (*Bactris gassipaes*), copoazú (*Theobroma grandiflorum*), seje (*Oenocarpus bataua*), temare (*Pouteria caimito*). Estos cultivos se establecen aparentemente sin ningún ordenamiento espacial y constituyen la base de la dieta diaria de la comunidad. La sustentabilidad del sistema de producción indígena está basada principalmente en la relación entre el período de producción (2 a 4 años aproximadamente) del conuco y el tiempo de recuperación de la vegetación natural (una vez abandonado) y la fertilidad del suelo, que según Uhl y Saldarriaga (1986) puede ocurrir entre 20 y 40 años. La selección del tipo de suelo se realiza empíricamente, considerando algunas

propiedades como la textura y el color (comunicación personal de indígenas Piaroa).

Sin embargo, el crecimiento poblacional, el proceso de sedentarización y transculturización de los grupos indígenas Piaroa localizados en esta comunidad, han traído como consecuencia un uso más intensivo de las áreas utilizadas para establecer los sistemas de conucos, dejando un período de descanso menor a los 15 años. Es por ello que con el uso indiscriminado del fuego como herramienta permanente para el establecimiento de conucos, se prevé a corto plazo una marcada deforestación de los bosques, emisiones de carbono a la atmósfera, pérdidas de la biodiversidad y mayor degradación de los suelos (Fujisaka y White, 1998). Estos factores pueden traer consigo cambios en la variabilidad espacial de los suelos, pudiéndose presentar una marcada variabilidad espacial a una micro y macro-escala (Vieira *et al.*, 1983). Por todo ello, el conocimiento de los cambios producidos dentro de los suelos desde que se establece el conuco, pasando por la fase de barbecho hasta el establecimiento del bosque, es fundamental para la toma de decisiones que permitan desarrollar estrategias y ordenar adecuadamente las áreas utilizadas por las comunidades indígenas, a objeto de fomentar el carácter sustentable de la región amazónica de la cuenca del río Sipapo.

El presente trabajo tuvo como objetivo principal analizar la variabilidad espacial de algunos atributos químicos y físicos mediante técnicas geoestadísticas, en dos suelos. El primero, localizado en un área recién talada y quemada y el segundo en un rastrojo de 12 años.

Material y métodos

Características de las parcelas y el muestreo de suelos

El área objeto de estudio se ubicó en las proximidades de la comunidad Piaroa Coromoto de Cuao, Reserva Forestal Sipapo al noroeste del estado Amazonas (Fig. 1). Esta zona presenta precipitaciones anuales que van desde 2.500 a 3.500 mm y una temperatura media anual superior de 26 °C. La geología predominante (75%) está constituida por rocas de composición granítica y granodiorítica, con alto contenido de cuarzo y sílice que originan alteraciones ferrolíticas producto de la pedogénesis (Esteves y Dumith, 1997).

Se seleccionaron dos sitios: el primero constituido por un área recién talada y quemada para el estableci-



Figura 1. Ubicación del área de estudio. Tomado de <http://www.a-venezuela.com/mapas/>

miento del conuco (llevado a cabo a finales de diciembre de 2000 y principios de enero del año siguiente); el segundo es un bosque secundario de 12 años que posee un total estimado de 46 especies, entre las cuales aproximadamente un 96% de los individuos presentan un DAP < 10 cm. En cada sitio se estableció una parcela de 20 × 20 m y se marcaron puntos para la toma de las muestras de suelos cada 5 m en dos direcciones perpendiculares entre sí, resultando una red de puntos para formar un cuadrado reticulado de 25 puntos de muestreo (Fig. 2); las muestras se tomaron a una profundidad entre 0 y 25 cm y se les ubicó espacialmente a través de un eje de coordenadas imaginario X e Y. Todas las muestras fueron secadas y tamizadas con una malla de 2 mm para los análisis físicos y químicos respectivos. Para los análisis de laboratorio se siguieron los métodos establecidos en Mac-Fonaiap (1990), a saber: textura (método de Bouyoucos), valores de pH en H₂O, carbono orgánico (combustión húmeda, método de Walkley y Black), nitrógeno total (método Micro-Kjeldahl), fósforo disponible (método de extracción en FNH₄ y HCl), acidez intercambiable y aluminio intercambiable (método de titulación de Van Raij).

Métodos estadísticos y geoestadísticos

Inicialmente se realizó un análisis exploratorio de datos, incluyendo un examen de las estadísticas descrip-

tivas (media aritmética, valores máximos y mínimos, y coeficiente de variación). Con el fin de probar si la distribución de las variables sigue una función de probabilidad normal se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk, 1965); a aquellas variables que no siguen dicha distribución se les aplicó la transformación correspondiente. Se utilizó un análisis por componen-

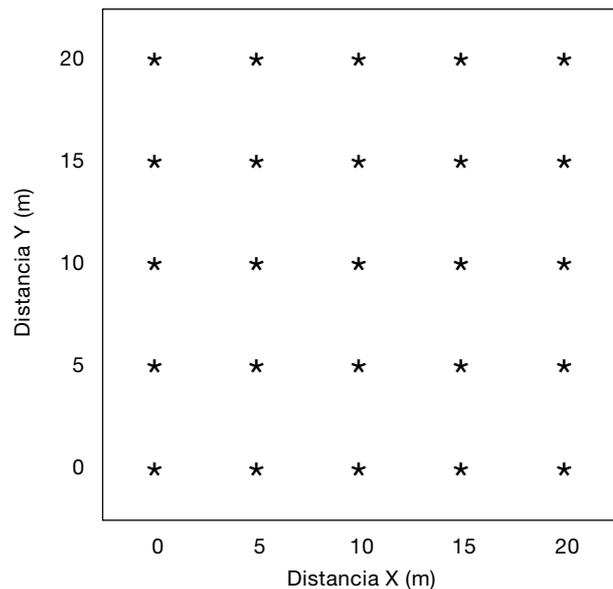


Figura 2. Esquema de muestreo (definida como una red de puntos con coordenadas espaciales X e Y, expresados en distancias de 5 m de separación) para las parcelas seleccionadas.

tes principales (ACP) para estudiar la naturaleza de las relaciones entre las variables y , a su vez, determinar aquellas variables que realmente contribuyen a explicar la variabilidad espacial de los suelos contrastados.

La geoestadística es una herramienta estadística aplicada al estudio de fenómenos distribuidos en el espacio (Journel y Huijbregts, 1981) y fue desarrollada por Matheron (1962; citado por Cressie, 1993) quién acuñó el término de variable regionalizada para calificar un fenómeno que se desarrolla en el espacio y manifiesta una estructura de dependencia espacial en particular. El uso de la geoestadística se ha hecho muy popular en los estudios de variabilidad espacial de atributos de los suelos agrícolas, permitiendo establecer distancias óptimas de muestreos y mapas para la clasificación y uso de los mismos (Vieira *et al.*, 1981; Ovalles, 1993; Henríquez y Vilorio, 1999; Gómez, 1994).

La variabilidad espacial fue evaluada a través de los semivariogramas de aquellos atributos seleccionadas por el ACP. El semivariograma experimental fue obtenido a partir de semivarianzas omnidireccionales $\gamma(h)$ a partir de un conjunto de observaciones espaciales, $Z(x_i)$, los cuales fueron estimados por la siguiente ecuación:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z_i - Z_{i+h})^2 \quad (1)$$

Donde $N(h)$ representa el número de valores de pares medidos (Z_i, Z_{i+h}) separados por una distancia h . Para este estudio los valores de Z pueden ser cualquiera de las propiedades estudiadas, como el pH por ejemplo, mientras que los valores de i e $i + h$ están definidos de acuerdo con las posiciones de muestreo en el campo. La dependencia espacial significa autocorrelación, o sea que un valor en cualquier punto depende de algún modo de su vecino más cercano. Esta característica se expresa en la ecuación por la diferencia $(Z_i \pm Z_{i+h})^2$ y suponiendo que la variación no es alterada por la dirección, se puede utilizar el módulo del vector h o la distancia de separación entre muestras. Cuando se obtiene el semivariograma experimental, se obtienen pares de valores de semivarianzas $\gamma(h)$ y de distancias (h), los cuales deberán ser dispuestos en el gráfico de dispersión teniendo como valores de Y las semivarianzas, y en X las distancias. En este estudio, la estimación de los semivariogramas fue realizada evaluando los siguientes modelos espaciales teóricos: a) modelo esférico, b) modelo exponencial, c) modelo Gaussiano y d) modelo lineal. Estas funciones integran el grupo de modelos denominados de transición (Vieira *et al.*, 1983).

Finalmente, con la información obtenida de los modelos ajustados de los semivariogramas, y con la finalidad de mostrar la variación espacial local de cada una de las variables en las áreas de estudio, se generaron mapas de isolíneas a través del método de interpolación lineal Kriging ordinario (Isaaks y Srivastava, 1989).

Los programas estadísticos utilizados en este trabajo fueron: SAS 6.08 (SAS Institute, 1994) para el análisis por componentes principales y GS plus versión 3.11.6 Demo (Gamma Design Software, 1999) para los análisis geoestadísticos.

Resultados y Discusión

Los suelos del área se clasificaron según FAO (1998) como Cambisol Dístico (Typic Dystrusteps; Soil Survey Staff, 1999), caracterizados por una baja fertilidad natural, evidenciada a través de alta acidez, bajos contenidos de materia orgánica, bases cambiables, nitrógeno, fósforo y alto contenido de aluminio. Las estadísticas descriptivas de los atributos seleccionados para el análisis en los primeros 25 cm (objeto del trabajo), correspondientes al conuco recién talado y quemado junto con el rastrojo de 12 años, se muestran en la Tabla 1. A partir de los valores promedios se observa que ambos suelos presentan similitud en algunos elementos de su composición química a excepción del fósforo disponible, el cual registró valores en sólo 4 de los 25 puntos de muestreo realizados en el rastrojo de 12 años y su único valor fue de 3,50 ppm (mayor coeficiente de variación). Probablemente este elemento se encuentre afectado por el catión aluminio (nótese los elevados valores de aluminio intercambiable en ambos suelos); para los suelos del conuco recién talado y quemado, cuando el aluminio intercambiable aumenta el fósforo puede pasar hacia sus formas ocluidas (fosfato de aluminio) disminuyendo su disponibilidad para la planta, como lo reportan Khanna y Ulrich (1992). Esto evidencia que el fósforo constituye uno de los macroelementos limitantes en el establecimiento de cualquier sistema de producción sustentable en la región del Amazonas Venezolano, y en particular en la Comunidad indígena Coromoto de Cuao. Esta limitación ya había sido reportada en otras regiones del Amazonas sudamericano (Uhl y Jordan, 1984; García, 1994; Mc Grath *et al.*, 2000).

Se asume alta concentración de aluminio en suelos muy lixiviados con problemas de acidez, cuando el pH del suelo se encuentra entre 4 y 4,5, es decir, donde se

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables físico-químicas estudiadas en suelos pertenecientes a un conuco recién talado-quemado y un rastrojo de 12 años

Parcela	Atributo	Media	Máximo	Mínimo	CV (%)
Conuco recién establecido	pH	4.37	4.93	4.00	5.74
	Nt (%)	0.12	0.18	0.09	20.73
	P (ppm)	4.05	7.70	0.00	46.98
	MO (%)	3.14	4.24	1.94	19.64
	Acidez	0.88	1.40	0.40	27.27
	Al ³⁺	0.73	1.20	0.20	36.60
	C/N	15.01	20.55	4.69	22.64
	Arena (%)	60.12	70.00	52.00	8.22
	Arcilla (%)	25.12	32.00	22.00	11.51
	Limo (%)	14.76	24.00	8.00	26.83
Rastrojo de 12 años	pH	4.64	5.32	4.16	6.06
	Nt (%)	0.15	0.41	0.09	41.81
	P (ppm)	0.56	3.50	0.00	229.13
	MO	3.28	12.55	1.85	61.45
	Acidez	0.86	2.00	0.20	50.53
	Al ³⁺	0.70	1.60	0.00	7.86
	C/N	12.72	18.12	7.86	21.45
	Arena (%)	75.20	84.00	68.00	4.76
	Arcilla (%)	11.68	18.00	6.00	23.57
	Limo (%)	12.72	18.00	6.00	20.80

Nt: nitrógeno total. P: fósforo disponible. MO: materia orgánica. Acidez: acidez intercambiable [cmol(+)/kg]. Al³⁺: aluminio intercambiable [cmol(+)/kg]. C/N: relación carbono nitrógeno.

presenta la capacidad tampón del aluminio (Hetsch y Fölster, 1982), el grado de acidez de cada una de las parcelas evaluadas, así como su clase textural y los valores promedios encontrados (0,86 y 0,88 cmol/kg) indican que existe toxicidad por este elemento.

En las parcelas evaluadas, se determinó que el drenaje fue de excesivo a bien drenado, permitiendo inferir que la mayor parte del nitrógeno es absorbido bajo la forma de nitrato (NO₃), como lo reporta Fassbender (1975); los valores de este elemento indican contenidos que se encuentran en el rango de bajo a muy bajo (0,15 a 0,05%), exceptuando algunos puntos de observación en el rastrojo de 12 años que presentó un alto contenido de nitrógeno (0,41%). Obsérvese que el promedio de materia orgánica en el rastrojo de 12 años es de 3,28%, ligeramente superior al del conuco recién establecido; pero con valores máximos de hasta 12,55%. Esto tal vez se deba a una importante incorporación de los desechos vegetales por parte de la vegetación secundaria iniciada en esta etapa de la sucesión natural.

El valor promedio de la relación carbono-nitrógeno en suelos del rastrojo de 12 años (12,72) indica que la mayor parte de los desechos vegetales que se acumulan sobre la superficie del suelo son mineralizados,

cuando se compara con el valor promedio de la relación carbono-nitrógeno del suelo para el conuco recién establecido; aquellos sugieren cierta eficiencia del ciclaje de nutrientes y su absorción por la vegetación natural, como fue descrito por McGrath *et al.* (2000).

Al analizar las clases texturales para cada una de las parcelas se observa que la textura arenosa a arena franca domina en el rastrojo de 12 años, mientras que la textura franco arcillo arenosa se presenta para el conuco recién establecido. Con el fin de establecer relaciones entre las variables de suelos, se realizó un análisis por componentes principales. Como la proporción de la variación de cada variable explicada en los dos componentes principales es la suma de sus correlaciones al cuadrado, las variables de suelos mejor explicadas se ubicarán cerca del círculo unitario o por encima de las correlaciones de 0,52 y -0,52 como referencia al 5% de significancia y las menos explicadas estarán cerca del origen (Pla, 1986). La Figura 3 muestra que la acidez y el aluminio intercambiable están altamente correlacionados y a su vez éstos están correlacionados negativamente con el pH y la relación carbono-nitrógeno; la arena está asociada negativamente con el limo, la arcilla, el nitrógeno y la materia orgánica, y esta últimas están correlacionadas positivamente. En este caso, las varia-

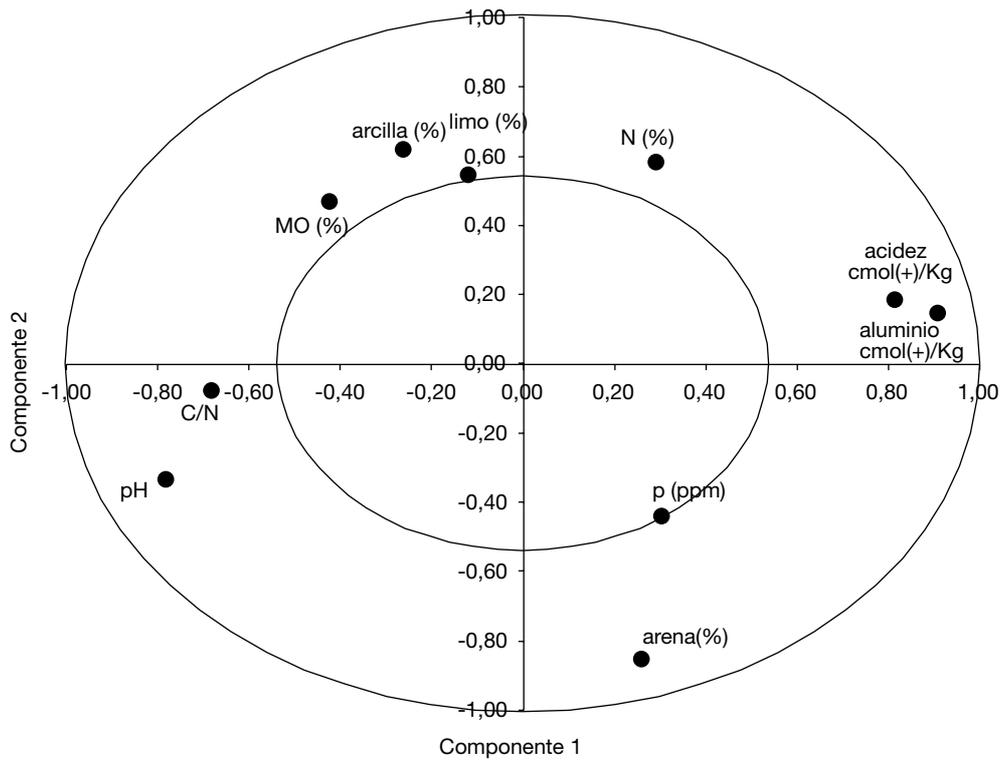


Figura 3. Correlación de las variables de suelos con los dos primeros componentes principales. Caso de los suelos del conuco recién talado y quemado.

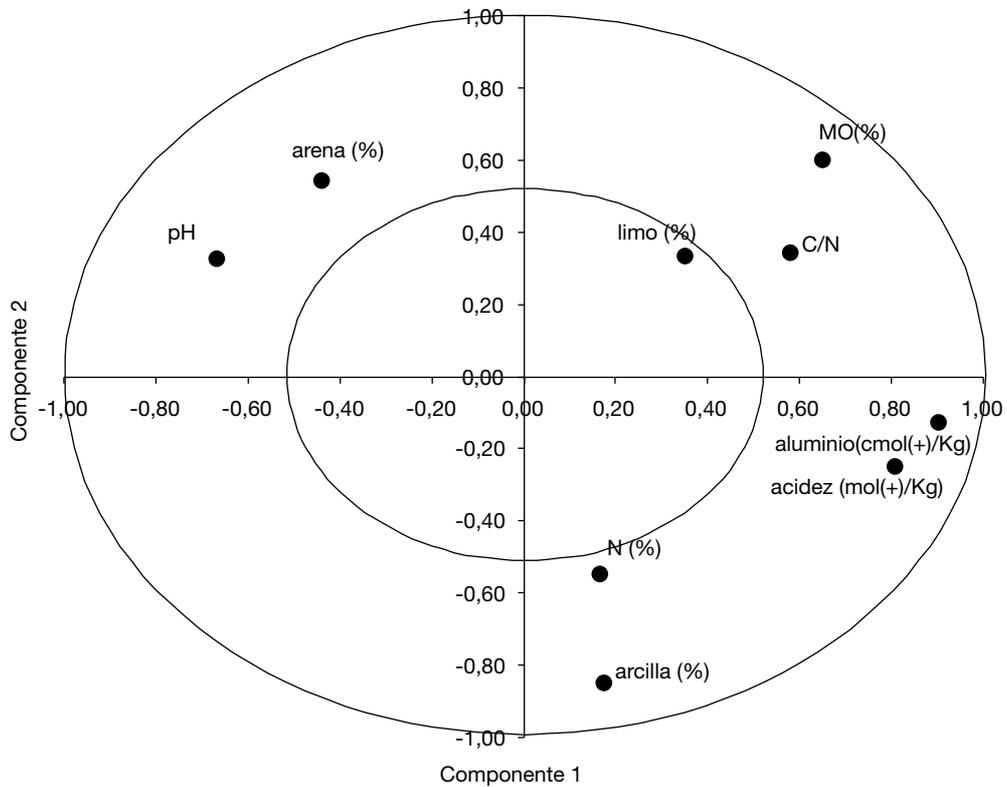


Figura 4. Correlación de las variables de suelos con los dos primeros componentes principales. Caso de los suelos del rastrojo de 12 años.

bles que mejor explican la variabilidad espacial de los suelos del conuco recién establecido son la acidez y el aluminio intercambiable, la arena, el limo, la arcilla, la relación carbono-nitrógeno, el nitrógeno, la materia orgánica y el pH; sólo el fósforo mostró una correlación estadísticamente no significativa.

Para los suelos pertenecientes al rastrojo de 12 años las relaciones que se establecen son las siguientes: existe una correlación positiva entre la relación carbono-nitrógeno y materia orgánica, pero correlacionadas negativamente con la acidez y el aluminio intercambiable; la arcilla y el nitrógeno en este suelo se correlacionan negativamente con la arena y el pH (Fig. 4). En definitiva, acidez y aluminio intercambiable, arena, arcilla, materia orgánica, relación carbono-nitrógeno, nitrógeno y pH son las variables que mejor explican la variabilidad espacial de los suelos del rastrojo.

Análisis geoestadístico

La Tabla 2 muestra los resultados de la estimación de los modelos de semivariograma de aquellos atributos que mejor explican la variación de los suelos pertenecientes al conuco recién talado y quemado y el rastrojo de 12 años. Todos ellos presentaron una estructura espacial definida; a su vez, fueron modeladas bastan-

te bien con el semivariograma esférico con efecto pepita (nugget), a excepción de la materia orgánica. La amplitud de la dependencia espacial se estimó entre 6,1 y 25,5 m, lo cual indica que la red de espaciamientos usado en el muestreo fue apropiado para caracterizar la variabilidad espacial de estos atributos. El efecto pepita (nugget) debe tomarse como un indicador de la continuidad a distancias muy cercanas (Paz-González *et al.*, 2000). Nótese que en general el efecto nugget es mayor en los suelos del rastrojo en comparación con los obtenidos para el conuco. Esto indica que la quema recién aplicada en estos suelos de algún modo favorece la continuidad de estos atributos a distancias más cercanas, y en suelos que han permanecido en reposo durante cierto tiempo promueven mayor diversidad de valores a distancias más cercanas; nótese que a mayor efecto pepita, menor será la amplitud o la distancia de dependencia espacial entre valores de los atributos evaluados. Estos resultados complementan aquellos obtenidos por Sánchez *et al.* (1983), en virtud de los cambios temporales significativos que puede producir la quema sobre algunas propiedades de los suelos de una región amazónica del Perú.

Tal vez por la alta correlación entre acidez y aluminio intercambiable encontrada en los análisis anteriores se produjo similitud en la estructura de dependencia espacial ajustada (obsérvese los valores de los

Tabla 2. Estimación de los modelos de semivariograma para las variables físico-químicas estudiadas en suelos pertenecientes a un conuco recién talado-quemado y un rastrojo de 12 años

Parcela	Atributo	Modelo	Co	Co + C	A
Conuco recién establecido	pH	Esférico	0.0140	0.0730	17.1
	Nt (%)	Esférico	0.0001	0.0007	16.7
	MO (%)	Esférico	0.0010	0.5330	19.3
	Acidez	Esférico	0.0098	0.0625	9.1
	Al ³⁺	Esférico	0.0051	0.0769	9.8
	C/N	Esférico	4.0500	13.1300	14.3
	Arena (%)	Esférico	2.4200	22.9300	8.7
	Arcilla (%)	Esférico	1.4300	9.3900	25.5
	Limo (%)	Esférico	2.0700	15.670	7.8
Rastrojo de 12 años	pH	Esférico	0.0312	0.0879	12.0
	Nt (%)	Esférico	0.0007	0.0039	9.7
	MO (%)	Aleatorio	—	—	—
	Acidez	Esférico	0.0307	0.1514	6.1
	Al ³⁺	Esférico	0.0086	0.1012	6.8
	C/N	Esférico	1.1000	6.4040	7.5
	Arena (%)	Esférico	3.9400	16.7900	24.0
	Arcilla (%)	Esférico	1.7500	7.9900	18.3

Co: efecto pepita (nugget). Co + C: meseta. A: amplitud (m). Acidez: acidez intercambiable [cmol(+)kg]. Al³⁺: aluminio intercambiable [cmol(+)kg]. C/N: relación carbono nitrógeno.

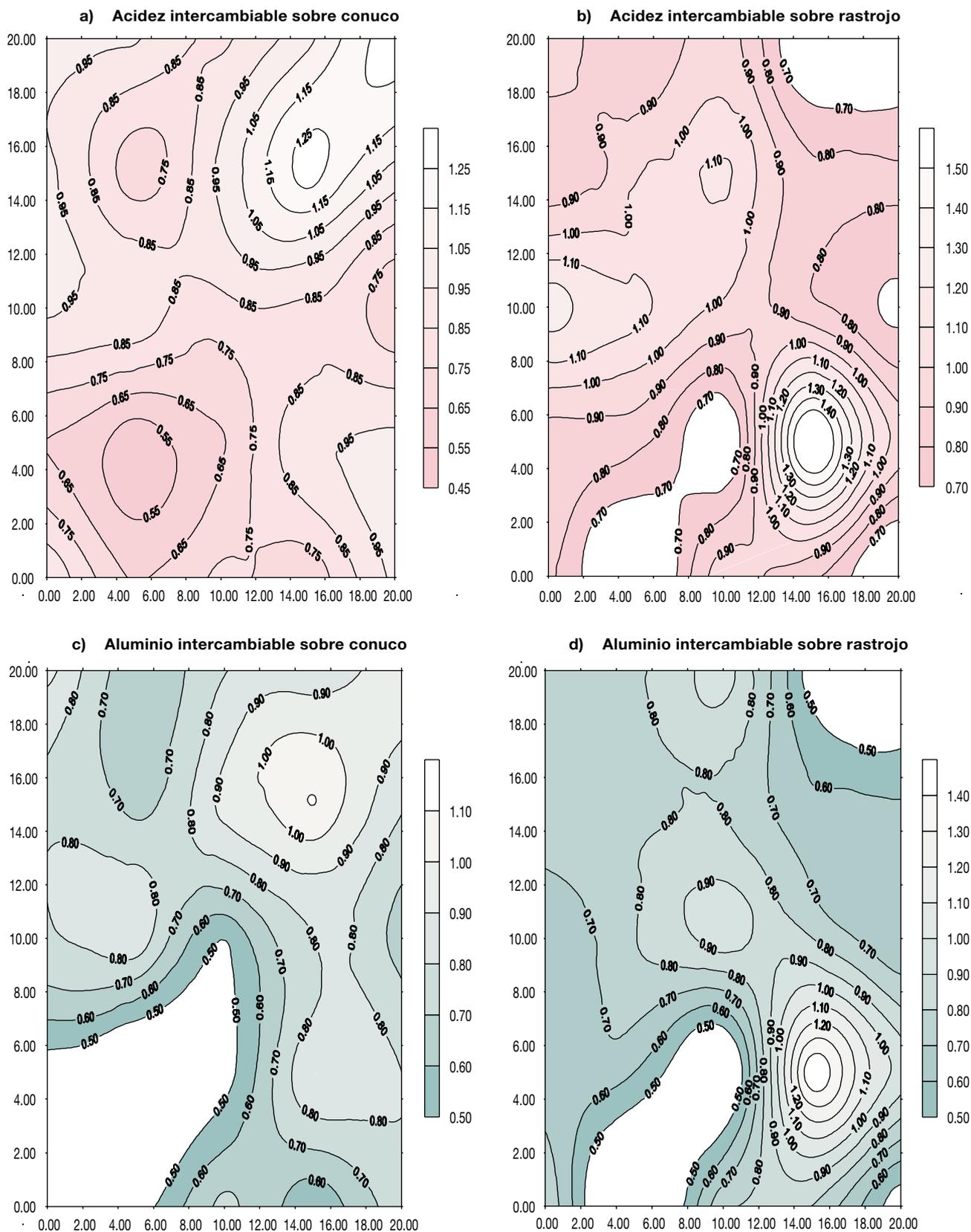


Figura 5. Mapas de contorno para acidez y aluminio intercambiable [cmol(+)/kg] estimados por Krigging.

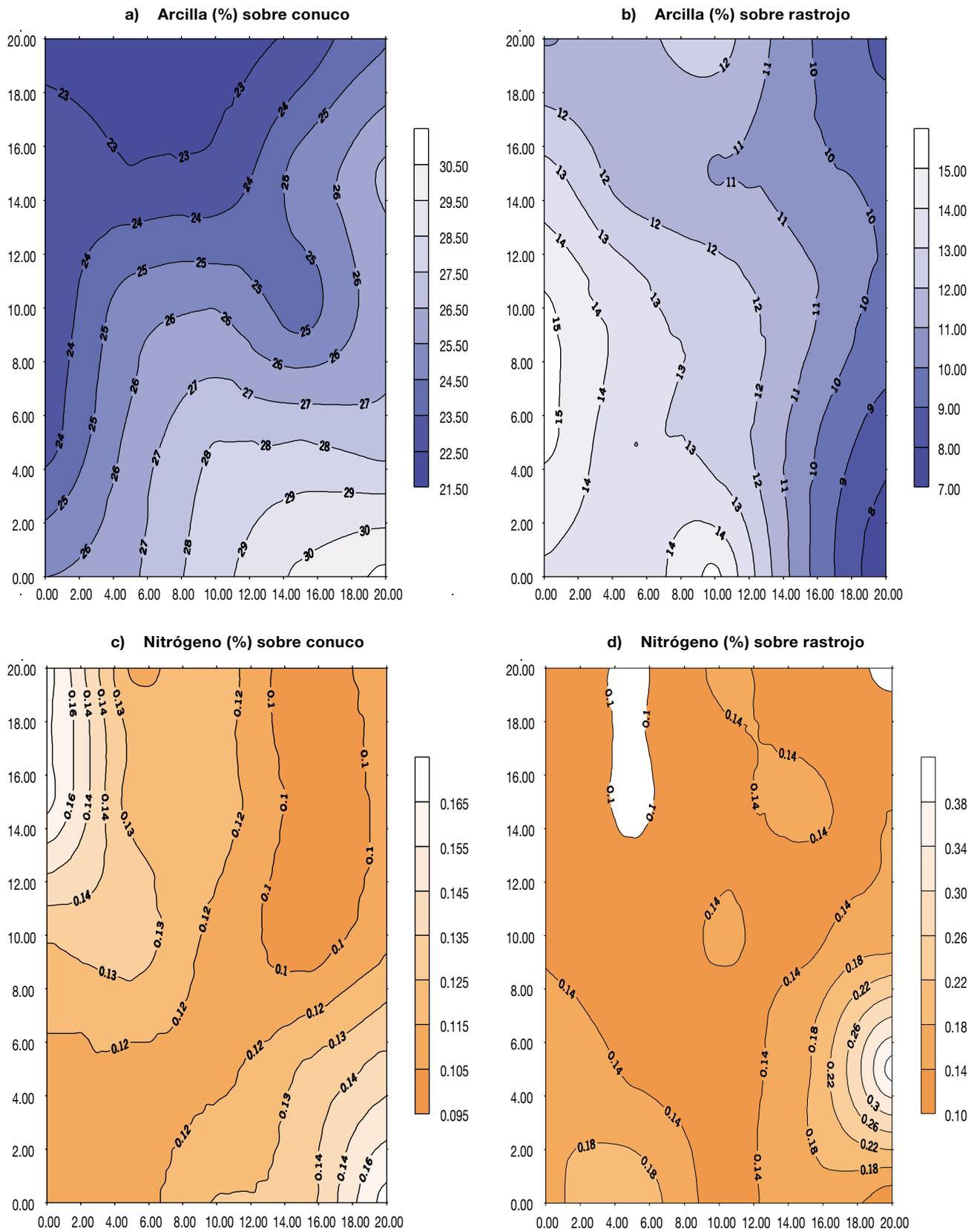


Figura 6. Mapas de contorno para arcilla (%) y nitrógeno (%) estimados por Krigging.

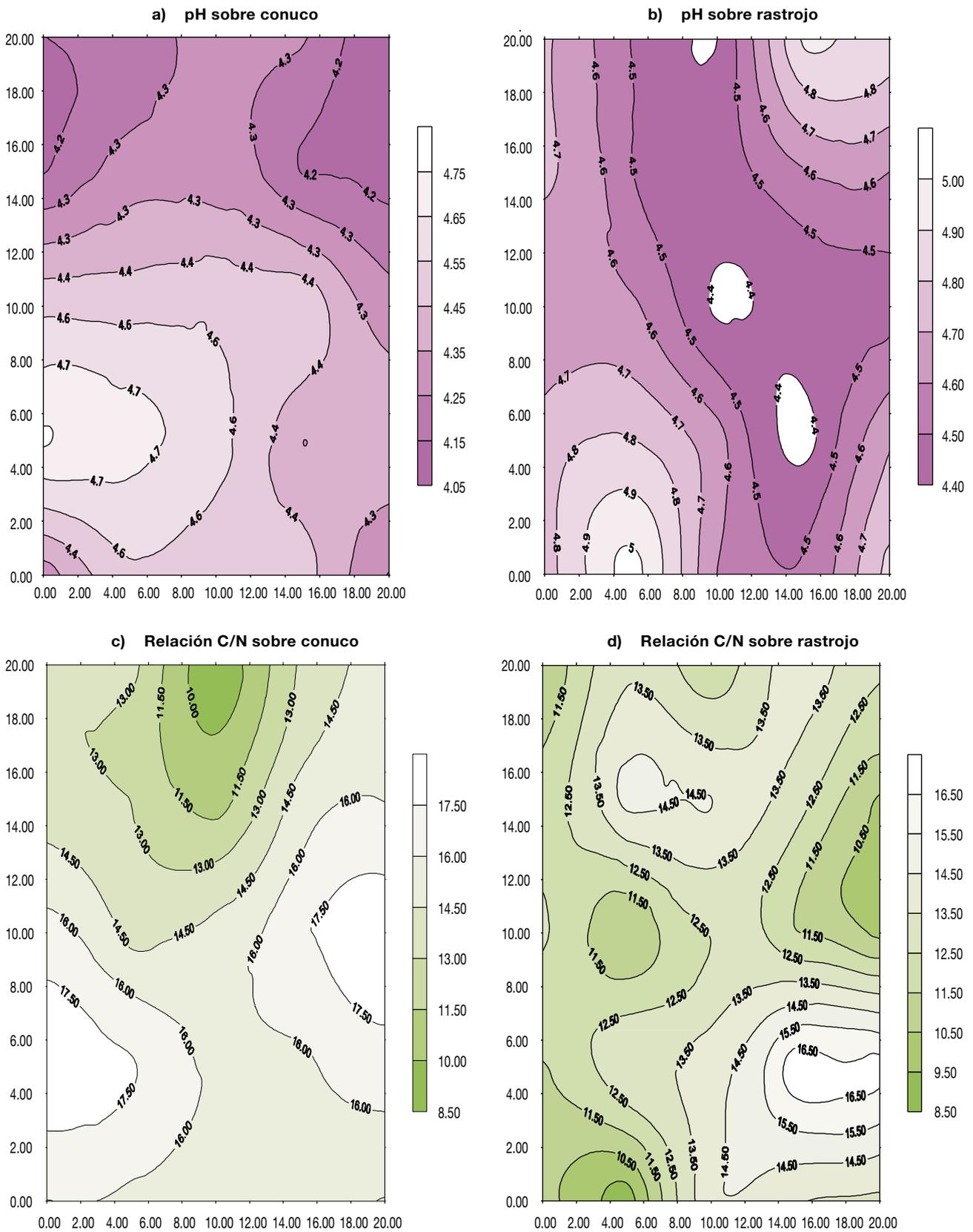


Figura 7. Mapas de contorno para pH y relación carbono-nitrógeno estimados por Krigging.

estimadores Co, Co + C y A). De este análisis se concluye que para muestreos futuros sobre estos suelos, se recomiendan espaciamientos entre puntos en no más de 19 m si se quieren evaluar atributos químicos, y de 26 m para evaluar clases texturales.

Los mapas de contornos obtenidos por el método de interpolación lineal Kriging ordinario se muestran en las Figuras 5, 6 y 7, para los atributos acidez y aluminio intercambiable, pH, relación carbono-nitrógeno, nitrógeno, y arcilla. Se destaca para los atributos acidez y aluminio intercambiable que sus mapas muestran patrones de distribución muy similares dentro de las mismas parcelas evaluadas y con amplia variedad de microrregiones. Esto era de esperar debido a la alta correlación detectada entre ellas en análisis anteriores. A su vez se destaca que altos contenidos de acidez y aluminio intercambiable están presentes en el rastrojo de 12 años (Figura 5). Sobre la parcela del conuco recién establecido se observa cómo el patrón de variabilidad espacial para los atributos arcilla y nitrógeno son similares; no obstante, el contenido de arcilla sigue sistemáticamente un gradiente muy marcado diagonalmente dentro de la parcela, mientras que el contenido de nitrógeno disminuye hacia el centro de la parcela. En la parcela del rastrojo de 12 años, se tienen contenidos de nitrógeno mayores y su distribución espacial muestra cierto agrupamiento de valores relativamente altos. Como se observó en la parcela correspondiente al conuco, el contenido de arcilla y nitrógeno parecieran seguir un patrón similar de variabilidad espacial también (Fig. 6).

En la Figura 7 se tienen los mapas correspondientes para el pH y la relación carbono-nitrógeno. El patrón de la distribución de las microrregiones del pH está fuertemente relacionado con el correspondiente patrón de los valores de la relación carbono-nitrógeno en ambas parcelas; existe una asociación directa entre altos valores de pH y alta relación carbono-nitrógeno, en particular se puede inferir que es el resultado de la incorporación de los desechos vegetales por parte de la vegetación secundaria una vez que se abandona el conuco, constituyendo la principal fuente de nutrientes del sistema de producción indígena.

Un análisis comparativo de los mapas de contorno mostrados anteriormente evidencian que el fuego tiene efectos profundos sobre la dinámica del suelo al alterar espacial y temporalmente sus propiedades químicas, y probablemente físicas e hidrológicas, debido principalmente a la forma como se distribuyen los desechos vegetales después de la tumba (combustible) y

las temperaturas durante la quema, que varían significativamente en intervalos de distancias relativamente cortos afectando los primeros centímetros de la superficie del suelo, como lo demuestra Gimeno (1999). Este comportamiento diferencial estimula la formación de parches o microhabitats con diferentes condiciones de humedad y nutrientes donde las especies que se establecen en las etapas sucesionales presentan preferencias hacia estos microhabitats, que tienden a aumentar en los diferentes estadios de la sucesión, como se observa en los suelos del rastrojo de 12 años.

Conclusiones

Los suelos en el área de estudio presentan limitaciones químicas, expresadas en una alta acidez cambiante (alta concentración de Al^{+3}), pH de ácido a extremadamente ácido, bajos contenidos de fósforo y nitrógeno y de medio a bajo porcentaje de materia orgánica.

Las clases texturales (franco arenosa a franco arcillo arenosa) y el pH de los suelos analizados (fuertemente a extremadamente ácido) asociados al contenido de Al^{+3} , permiten inferir que este elemento se encuentra en niveles altos y probablemente esta concentración disminuye la disponibilidad de nutrientes tales como el fósforo para los cultivos.

La relación C/N (desde 12,62 hasta 20,52) permite inferir que la materia orgánica que se acumula en la superficie del suelo mineral presenta diferentes tasas de mineralización (rápidamente si se considera los valores promedios, de 12 a 15), originando un *mull* ácido.

Se demuestra el efecto del fuego y la sucesión de la vegetación en la variabilidad espacial de los atributos de suelos analizados en este trabajo. La quema recién aplicada de algún modo favorece la continuidad espacial a distancias más cercanas, y en suelos que han permanecido en reposo durante cierto tiempo promueven mayor diversidad de valores a distancias más cercanas.

Si se desea realizar futuros muestreos sobre estos suelos se recomiendan distancias entre puntos de 19 m para evaluar atributos químicos, y de 26 m para evaluar clases texturales; de esta manera, se garantiza estimaciones con propiedades estadísticas confiables.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto No. 97003188, otorgado por el FONACYT-Venezuela; los

autores quieren agradecer al grupo de Investigación de Manejo Múltiple de Ecosistemas Forestales, del Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal (INDEFOR), Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, por el valioso apoyo de campo ofrecido.

Referencias bibliográficas

- CRESSIE N.A.C., 1993. Statistics for spatial data. Revised edition; New York: John Wiley and Sons, Inc. 900 p.
- ESTEVEZ J., DUMITH D., 1997. Diversidad biológica en Amazonas. Bases para una estrategia en gestión. SADA-Amazonas, PNUD, Fundación Polar.
- FAO-ISRIC-ISSS. 1998. World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports 84. FAO. Roma, 88 p.
- FASSBENDER L., 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica.
- FRANCO W., DEZZEO N., 1994. Soil and soil water regime in the terra firme-caatinga forest complex near San Carlos de Río Negro, State of Amazonas, Venezuela. *Interciencia* 19 (6).
- FUJISAKA S., WHITE D., 1998. Pasture or permanent crops after slash and burn cultivation? Land use choice in three Amazon colonies. *Agroforestry Systems* 42, 45-59.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE, 1999. GS Plus, Geostatistics for the Environmental Sciences, Release 3.11.6 Demo.
- GARCÍA P., 1994. Los suelos del estado Amazonas: sus potencialidades agrícolas. *Venesuelos* 2 (2), 59-66.
- GIMENO E., 1999. Efectos de la intensidad del fuego sobre las propiedades químicas del suelo y sus consecuencias en los procesos de erosión hídrica. Incendios experimentales en zonas forestales mediterráneas. Tesis Doctoral, Centro de Investigaciones sobre Desertificación, Universidad de Valencia, España.
- GOMEZ T., 1994. Variabilidad espacial de los suelos del experimental del Instituto de la Uva-UCLA-Venezuela. *Venesuelos* 2 (1), 2-9.
- HENRÍQUEZ M., VILORIA J., 1999. Número de observaciones para obtener semivariogramas de algunas propiedades de suelo y distancias de muestreo. *Agronomía Tropical* 49 (1), 5-17.
- HETSCH W., FÖLSTER H., 1982. Estudio de las relación Clima-Pedogénesis en la Cordillera de Los Andes de Venezuela. VII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, San Cristobal (Venezuela). Volumen especial de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes. Editor: Wilfredo Franco.
- ISAACS E.H., SRIVASTAVA R.M., 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press.
- JOURNAL A., HUIJBREGTS C.H., 1981. Mining Geostatistics. Academic Press, London. 600 pp.
- KHANA P., ULRICH B., 1992. Soil characteristics influencing nutrient supply in forest soil nutrition of plantation forest. Ed Bowen, D. and Nambiar, E. K.S. Londres.
- MAC-FONAIAP, 1990. Manual de métodos de referencia para el análisis de suelos para el diagnóstico de fertilidad. Ministerio de Agricultura y Cría – Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Caracas, Venezuela.
- MC GRATH D.A., DURYEY M.L., COMERFORD N.B., CROPPER W.P., 2000. Nitrogen and phosphorus cycling in an amazonian agroforest eight year following forest conversion. *Ecological Applications* 10 (6), 1633-1647.
- OVALLES F., 1993. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del lago de Valencia. *Agronomía Tropical* 41 (1-2), 5-21.
- PAZ-GONZÁLEZ A., VIEIRA S.R., TABOADA M., 2000. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma* 97, 273-292.
- PLA L., 1986. Análisis multivariado: Método de componentes principales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos-Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington D.C. 89 pp.
- SÁNCHEZ P.A., VILLACHICA J.H., BANDY D.E., 1983. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Perú. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 1171-1178.
- SAS INSTITUTE, 1994. SAS/STAT Software. Changes and enhancements. Release 6.08. SAS Technical Report, SAS Institute. Cary North Caroline. USA.
- SHAPIRO, WILKS, 1976. An analysis of variance for test normality (complete samples). *Biometrika* 52, 519-611.
- SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil Taxonomy. Agriculture Handbook. No. 436. 2nd ed. Natural Resource Conservation Service USDA. 869 pp.
- UHL C., JORDAN C.F., 1984. Vegetation and nutrient dynamics during the first five years of succession following forest cutting and burning in the Rio Negro region of Amazonia. *Ecology* 65, 1476-1490.
- UHL C., SALDARRIAGA J., 1986. Fragilidad de la pluviselva amazónica. *Investigación y Ciencia* 121, 72-81.
- VIEIRA S.R., HATFIELD J.L., NIELSEN D.R., BIGGAR J.W., 1983. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia* 51 (3), 1-75.
- VIEIRA S.R., NIELSEN D.R., BIGGAR J.W., 1981. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Sci Soc Am J* 45, 1040-1048.