

Efectos de una Sucesión de Cultivos en la Fertilidad de Suelos Volcánicos Respecto a la Sucesión Natural¹

M. Mazzarino*, J. Ewel**, C. Berish***, B. Brown****

ABSTRACT

The effects of two treatments—natural succession and successional monoculture—on volcanic soil fertility following forest fell and burn were studied over five years in Costa Rica. For the successional monoculture corn (*Zea mays* L.); cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken) were chosen. Owing to microvariability problems, each treatment was divided into two groups of different fertility. The parameters above-ground biomass and soil organic matter, total N, available P, percent acid saturation, extractable Ca, Mg, K and Al + H were analyzed statistically. Percent acid saturation was considered a suitable index to evaluate tropical volcanic soil fertility. The results obtained were as follows: successional monoculture had no effects on soil fertility compared to natural succession when original conditions of acid saturation were low (< 2% in depth 0-5 cm, < 20% in depth 5-25 cm), but it was significantly affected under original condition of high acid saturation (> 7% in depth 0-5 cm, > 50% in depth 5-25 cm). A non-statistical comparison with a bare plot is also included.

INTRODUCCION

La quema de bosques para el establecimiento de monocultivos es una práctica habitual en los trópicos. Después de varios años, el descenso marcado de los rendimientos obliga a abandonar las parcelas y a quemar otras nuevas. Esto constituye la base de la "agricultura migratoria". Son varias las causas a las que se atribuye el descenso de la producción siendo una de ellas el agotamiento de la fertilidad de los suelos. De acuerdo con Sánchez (13) el grado de deterioro de la misma depende de su nivel original.

¹ Recibido para publicación el 12 de julio de 1987. X
Agradecemos especialmente a M. Rivera por su ayuda en el campo experimental; a M. Artavia y D. Hazlett por su ayuda en el campo y en el laboratorio, y al personal del Laboratorio de Suelos del CATIE, su valioso apoyo.

* Proyecto CATIE-Univ. de Florida. Actualmente becario del CONICET, Argentina; dirección: Conesa 1434 (1426) Buenos Aires.

** University of Florida.
*** University of Georgia.

**** University of Wisconsin, U.S.A.

COMPENDIO

Se estudiaron durante 5 años los efectos de dos tratamientos: sucesión natural y sucesión de monocultivos en la fertilidad de un suelo volcánico, después de la tala y quema de un bosque secundario en Costa Rica. Para la sucesión de cultivos se utilizó maíz (*Zea mays* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.) Oken). Problemas de microvariabilidad en los suelos obligaron a subdividir cada tratamiento en dos grupos de diferente fertilidad. Se analizó estadísticamente la biomasa aérea y en el suelo, los parámetros materia orgánica, N total, % de saturación ácida, P, Ca, Mg K y Al + H extraíbles. Se consideró como índice adecuado para evaluar la fertilidad de suelos volcánicos tropicales el % de saturación ácida. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: la sucesión de monocultivos no afecta la fertilidad del suelo en comparación con la sucesión natural si las condiciones originales son de baja saturación ácida (< 2% y < 20% en las profundidades 0-5 cm y 5-25 cm, respectivamente), pero la empeora significativamente cuando las condiciones originales son de alta saturación ácida (> 7% y > 50% en las profundidades de 0-5 cm y 5-25 cm). Se incluye una comparación (no estadística) con una parcela mantenida sin vegetación.

Así, suelos relativamente ricos en bases, como Alfisoles o Andosoles, no manifiestan cambios significativos en su fertilidad que expliquen los descensos de rendimientos observados. En cambio, los explicarían en el caso de suelos con niveles bajos de bases como Ultisoles y Oxisoles.

Existen diversas publicaciones sobre la disponibilidad de nutrimentos después de la tala y quema, bajo monocultivo o sucesión, en suelos tropicales (1, 12, 14, 16). Sin embargo, no existen estudios sobre los efectos de monocultivos respecto a la sucesión natural en una evolución simultánea sobre suelos homogéneos.

El presente trabajo ofrece una comparación a este nivel en un suelo de origen volcánico. Las mediciones se realizaron durante 5 años y para el monocultivo se seleccionaron cultivos típicos de la zona, los que se establecieron siguiendo las formas de vida de la sucesión natural: durante el primer año dos cultivos de maíz (*Zea mays* L.); a continuación un arbusto, yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y por último, laurel (*Cordia alliodora* Ruiz y Pav., Oken), un árbol de creci-

miento rápido. Debido a diferencias en la fertilidad de los suelos, las seis repeticiones originales de cada tratamiento se subdividieron en dos grupos, alta y baja fertilidad, lo que permite presentar un análisis adicional de los efectos del monocultivo bajo diferentes condiciones de fertilidad. A nivel cualitativo, se ofrece además una comparación con una parcela mantenida sin vegetación durante los 5 años de duración del experimento.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se llevó a cabo en un bosque experimental del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. El sitio está ubicado a 9°53'N, 83°40'O; a 650 msnm y corresponde a la zona de vida del bosque húmedo tropical premontano según la clasificación de Holdridge (15). La precipitación media anual es de aproximadamente 2 700 mm con una época seca entre enero y marzo. Los suelos han sido descritos como *Typic Dystrandept* por Martini (10).

A principios de 1979 se taló y quemó la vegetación original consistente en un bosque secundario de 8-9 años (5). Se establecieron los tratamientos según un diseño de bloques al azar, con seis repeticiones de 16 x 16 m cada una. Una parcela de 14 x 14 m, sin repeticiones, fue mantenida sin vegetación. La duración del experimento se extendió hasta abril de 1984. Para el monocultivo se utilizaron densidades de siembra típicas de la zona: 1 x 0.5 m para maíz; 1 x 1 m para yuca y 2 x 2 m para laurel; no se utilizaron fertilizantes ni plaguicidas y fue desmalezado a mano. Se cosecharon los granos de maíz y las raíces de yuca, pero el resto del material vegetal permaneció en la parcela. Debido a la mayor intensidad de los cambios durante los primeros años, los muestreos de biomasa se realizaron todos los meses en 1979 y cada dos meses hasta octubre de 1980. Los suelos fueron muestreados cada tres meses hasta octubre 1980. Desde 1981 a 1984 ambos muestreos se llevaron a cabo dos veces por año.

Los muestreos de biomasa aérea se realizaron seleccionando al azar subparcelas de la sucesión o 1 a 4 plantas en el caso del monocultivo (3). Todo el material fue cortado a nivel del suelo; los datos incluidos en el presente trabajo resultan de la suma de hojas, ramas y troncos y partes reproductivas. El peso fresco total se determinó a campo; para las conversiones a peso seco se secaron submuestras de 500 g a 70°C. Los resultados del último muestreo de biomasa de la sucesión no se incluyen pues presentaron gran variabilidad, como consecuencia de la reducción de la superficie a muestrear al final del ensayo.

De los suelos se extrajeron muestras compuestas por ocho submuestras tomadas al azar a 0-5, 5-25 y 25-45 cm. A partir de 1981 se incluyó la profundidad 45-85 cm. Las muestras se secaron a 55°C y se tamizaron por malla de 2 mm. La materia orgánica se determinó por el método de digestión húmeda de Walkley y Black; N-total por la técnica de semimicro Kjeldahl y pH en una relación suelo: agua de 1:2.5. Potasio, calcio, magnesio y fósforo, se extrajeron por el método del doble ácido (0.05N HCl + 0.025N H₂SO₄). Los cationes se determinaron por absorción atómica y P por colorimetría con SnCl₂ SnCl₂ como reductor. La acidez de cambio (Al + H) se extrajo con KCl 1N y se determinó por titulación (4). La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) se calculó como la suma de (Al + H) + Ca + Mg + K y el % de saturación ácida como Al + H/CICE x 100. Dada la alta capacidad de fijación de P de los suelos derivados de cenizas volcánicas se construyeron isothermas de sorción, según el método de Fox y Kamprath (6).

El análisis estadístico aplicado consistió en análisis de varianza con dos variables independientes; tratamiento y tiempo. Donde no hubo interacciones se utilizó para los tratamientos el análisis Duncan de significancia para $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Si bien los suelos del sitio son homogéneos desde el punto de vista de su génesis y clasificación (2), se observaron diferencias significativas de fertilidad en lo que respecta a cationes extraíbles acidez de cambio y % de saturación ácida, lo cual obligó a subdividir cada tratamiento en dos grupos de tres repeticiones cada uno: G1 de alta y G2 de baja fertilidad. En el Cuadro 1 se presentan las características generales de los suelos para dos fechas: 5 y 61 meses después de la quema. Es posible que las diferencias de fertilidad entre ambos grupos de suelos se deban al tipo de uso de la tierra previo al establecimiento del bosque secundario desmontado para el presente experimento.

Resulta complejo caracterizar la fertilidad de suelos volcánicos tropicales pues parámetros tales como P disponible, materia orgánica y nitrógeno total no resultan adecuados; el P, por sus bajos niveles, y la materia orgánica y el nitrógeno por su alta estabilidad (7, 11). En el presente trabajo, se escogió como índice de fertilidad al % de saturación ácida pues permite evaluar disponibilidad de cationes y toxicidad de aluminio (13). El análisis de este parámetro, hasta 85 cm de profundidad y todas las fechas de muestreo, arrojó diferencias significativas entre monocultivo y sucesión

Cuadro 1. Concentración de nutrimentos cinco meses (a) y 61 meses (b) después de la quema.

		Sucesión				Monocultivo				Sin vegetación			
		Profundidad (cm)				Profundidad (cm)				Profundidad (cm)			
		0-5	5-25	25-45	45-85	0-5	5-25	25-45	45-85	0-5	5-15	25-45	45-85
pH	a	5.5	4.8	4.8	—	5.3	4.7	4.7	—	5.2	4.4	4.5	—
	b	5.1	4.7	4.8	4.9	4.9	4.6	4.6	4.6	4.5	4.4	4.6	4.5
m.o.	a	16.3	9.3	8.3	—	16.8	9.0	8.1	—	16.5	11.8	11.4	—
	b	13.6	7.0	6.1	5.1	11.9	6.8	5.8	4.5	9.0	7.5	6.7	4.5
N	a	0.73	0.39	0.30	—	0.78	0.41	0.33	—	0.75	0.54	0.39	—
	b	0.73	0.43	0.31	0.25	0.62	0.41	0.30	0.26	0.54	0.38	0.31	0.24
P	a	7.4	1.3	1.2	—	7.7	1.3	1.1	—	2.8	1.3	1.3	—
	b	3.1	1.7	1.9	1.6	2.9	1.6	1.9	2.0	4.4	1.8	1.7	2.4
Grupo 1													
Ca	a	2 074	651	490	—	2 159	609	539	—				
	b	1 888	487	419	412	1 253	374	323	274				
Mg	a	295	138	95	—	309	135	118	—				
	b	225	102	75	73	169	44	47	42				
K	a	121	102	56	—	230	146	132	—				
	b	199	75	66	36	103	51	32	30				
CICE	a	13.3	5.7	4.8	—	14.1	5.4	5.0	—				
	b	12.1	4.9	5.0	3.7	8.7	4.4	4.4	3.2				
Al + H	a	0.3	1.1	1.4	—	0.1	0.9	1.0	—				
	b	0.4	1.4	2.1	1.0	1.0	2.0	2.3	1.4				
sat.	a	2	19	30	—	1	16	20	—				
ac.	b	3	29	42	27	11	45	53	43				
Grupo 2													
Ca	a	1 221	247	196	—	965	240	188	—	1 266	346	310	—
	b	788	173	177	131	310	101	82	100	125	63	57	51
Mg	a	312	80	60	—	229	65	45	—	240	84	69	—
	b	168	31	36	32	66	20	19	22	18	8	8	5
K	a	157	77	47	—	197	112	46	—	196	102	86	—
	b	130	51	57	20	69	57	31	28	54	51	30	26
CICE	a	9.7	4.9	4.3	—	8.3	5.4	4.5	—	9.1	5.1	4.7	—
	b	6.8	4.1	3.8	2.9	4.7	4.4	3.9	3.6	4.5	4.1	3.6	3.0
Al + H	a	0.7	2.8	2.7	—	1.2	3.4	3.1	—	0.3	2.4	2.4	—
	b	1.2	2.9	2.5	1.8	2.4	3.6	3.2	2.8	3.6	3.6	3.2	2.6
sat.	a	7	57	62	—	15	63	68	—	3	47	51	—
ac.	b	17	70	65	62	51	81	83	78	80	87	88	88

Los datos únicos son \bar{x} de $n = 6$, los dobles son \bar{x} de $n = 3$ y corresponden a los suelos de alta (grupo 1) y baja fertilidad (grupo 2). Materia orgánica (m.o.), N total y saturación ácida (sat.ac.) en %, CICE en cmol/kg-l ; Ca, Mg y K extraíbles y P disponible en mg/kg-l .

natural en los suelos de menor fertilidad (G2): bajo monocultivo se presentaron los valores más altos de saturación ácida como consecuencia de diferencias significativas en las concentraciones de Ca, Mg y K (valores más bajos) y Al + H (valores más altos). Tales diferencias se acentuaron en el tiempo como puede observarse en la Fig. 1, donde se presentan las tendencias hasta 25 cm de profundidad. En el caso de los

suelos de alta fertilidad (G1), en cambio, no se observaron diferencias significativas entre ambos tratamientos, lo que indicaría que el monocultivo afecta la fertilidad del suelo dependiendo de sus condiciones originales (13). En la parcela sin vegetación, sometida a una mayor exposición a lluvias y a altas temperaturas, el aumento del % de saturación ácida resultó espectacular; de 3% a 80% en los primeros 5 cm y de 47% entre 5-25 cm.

a 87%

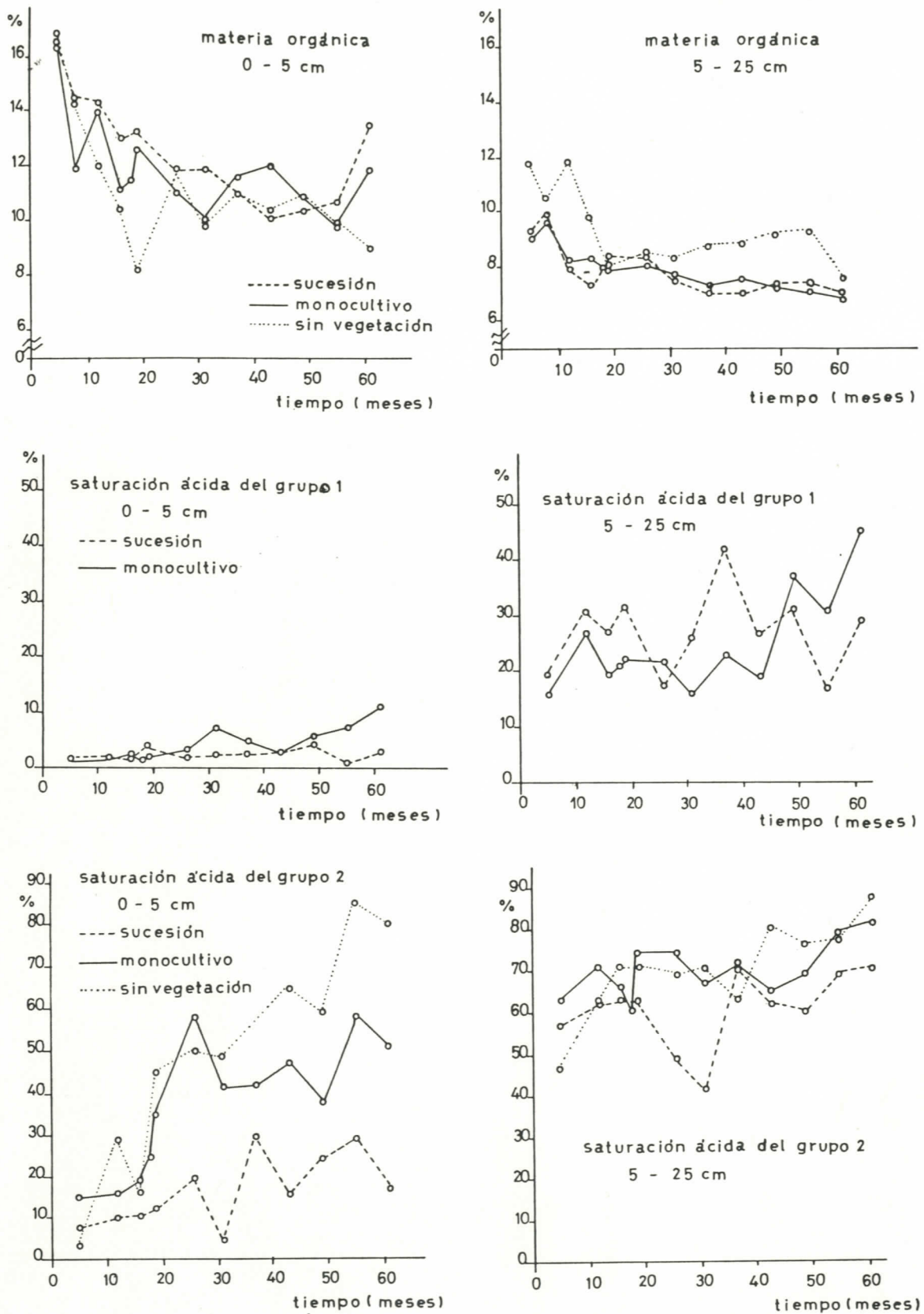


Fig. 1. Distribución de la materia orgánica y del % de saturación ácida en el tiempo y dos profundidades 0-5 cm y 5-25 cm de los tres tratamientos: sucesión natural, monocultivo y sin vegetación. Los datos de materia orgánica son medias de $n = 6$ y los del % de sat. ácida son medias de $n = 3$ para los dos grupos de suelos: G1 alta y G2 baja fertilidad.

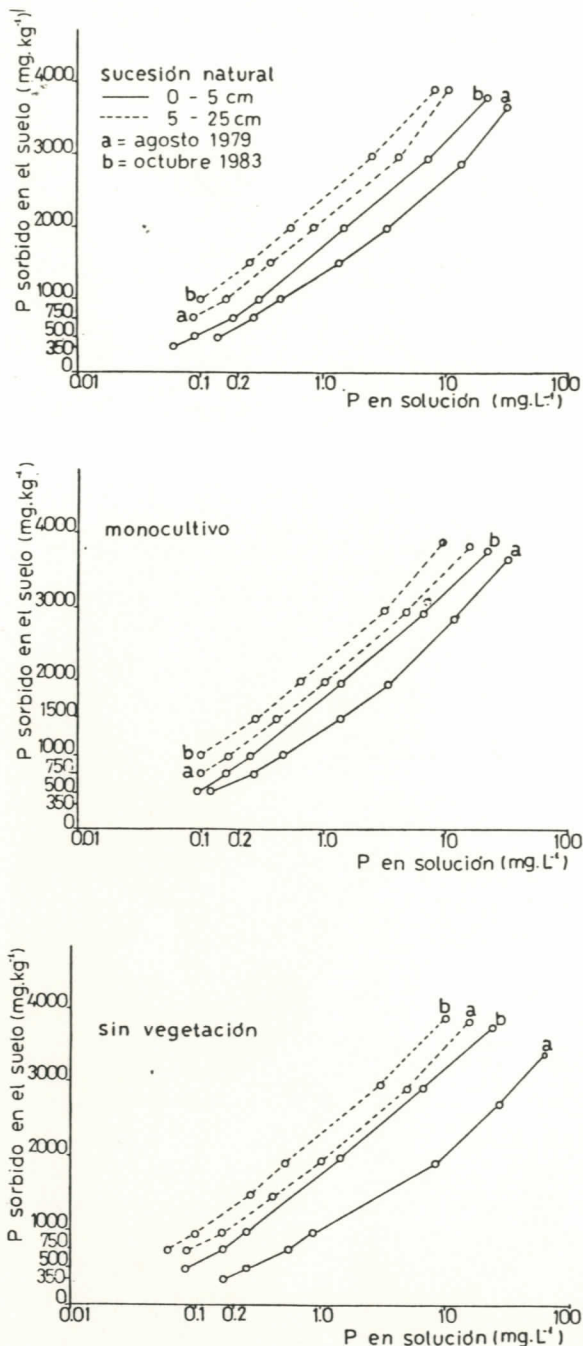


Fig. 2. Isothermas de retención de fósforo de los tres tratamientos para dos fechas de muestreo —comienzo y final del ensayo— y dos profundidades: 0-5 y 5-25 cm. Los datos de sucesión natural y monocultivo corresponden al grupo de suelos de baja fertilidad (G2).

Los suelos tropicales derivados de cenizas volcánicas presentan una alta capacidad de retención de P debido a la presencia de alófanos y de Al intercambiable; los *Dystrandepts* ocupan entre ellos una posición

intermedia (7). Se construyeron isotermas de P para dos suelos representativos de ambos grupos, dos profundidades y dos fechas: cinco y 55 meses después de la quema. Los valores fluctuaron entre 400-1 000 mg P/kg-1 de suelo para una concentración estándar en solución de 0.2 mg L⁻¹ (Fig. 2 y Cuadro 2). En general, la capacidad de retención de P aumentó en el tiempo para los tres tratamientos en el siguiente orden: sucesión < monocultivo < sin vegetación y fue mayor en G2 que en G1. Estas diferencias de retención no se manifestaron, sin embargo, en el nivel de P disponible que fue, en general, muy bajo, sin diferencias significativas entre grupos o tratamientos.

No se observaron diferencias significativas en los niveles de materia orgánica entre sucesión y monocultivo (Fig. 1). En el caso de la parcela sin vegetación se observó un descenso muy marcado durante los primeros 18 meses (50% de pérdida) para luego subir y estabilizarse a valores muy altos: 9-12%. A mayor profundidad (5-25 cm), los valores en esta parcela fueron más altos que en el monocultivo y la sucesión, probablemente por acumulación del material descompuesto en superficie y por muerte y descomposición de raíces. La alta estabilidad de la materia orgánica que resulta de estos datos puede deberse a: (1) la formación de complejos con alófanos y óxidos hidratados altamente resistentes a la descomposición y (2) a una disminución de la actividad microbiana por deficiencia de fósforo (7) y/o aumento de las condiciones de acidez (menos cationes, más Al e H).

En la Fig. 3 se presentan las tendencias de biomasa aérea en el tiempo. En el caso de la sucesión natural no se observaron diferencias significativas de biomasa entre los dos grupos de fertilidad de suelos; sin embargo, existen diferencias significativas de concentración de nutrientes: N, P, K, Ca y S en hojas y tallos, con los valores más bajos en el suelo de menor fertilidad (Cuadro 3). En el caso del monocultivo de maíz y yuca no se encontraron diferencias significativas de biomasa entre G1 y G2; en cambio, fueron muy significativas ($p < 0.001$) en el caso de *Cordia alliodora* con los menores valores en G2. Por otro lado, el análisis estadístico de biomasa aérea de *Cordia* respecto a la sucesión natural para las cuatro últimas fechas de muestreo (nov. 82 a nov. 83) arrojó diferencias significativas en el suelo G2 pero no en G1. Esto indicaría que en condiciones de alta fertilidad, un monocultivo puede ser igualmente productivo, y probablemente aún más que la vegetación natural; en cambio, ésta presenta ventajas adaptativas que le permiten aprovechar mejor los recursos en condiciones de estrés de fertilidad. (8) propone una serie de mecanismos que explicarían esta capacidad entre ellos: velocidad de consumo de nutrientes, relación raíz/tallo; exudados de la rizósfera, tolerancia a suelos ácidos, diversi-

Cuadro 2. Fósforo sorbido en el suelo (mg/kg-1) para una concentración estándar en solución de 0.2 mg/L-1. Valores correspondientes a dos fechas de muestreo y aumento en la sorción de P entre ambas fechas.

	Profundidad (cm)					
	0-5			5-25		
	Mes 5	Mes 55	Aumento	Mes 5	Mes 55	Aumento
Grupo 1						
Sucesión	400	575	175	665	775	110
Monocultivo	400	675	275	875	1 025	150
Grupo 2						
Sucesión	625	765	140	1 120	1 320	200
Monocultivo	665	875	210	1 100	1 300	200
Sin vegetación	415	850	435	1 100	1 325	225

dad de especies, etc. Las diferencias de fertilidad y producción observadas en el presente trabajo indicarían que la alta fertilidad de los suelos volcánicos (9, 13) no es una aseveración generalizable.

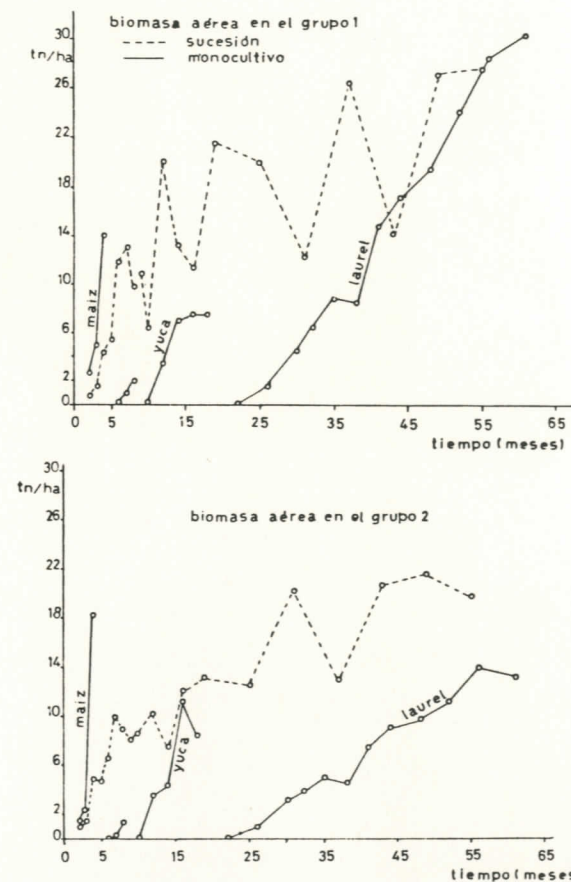


Fig. 3. Distribución de la biomasa aérea en el tiempo de la sucesión natural y los monocultivos en los dos suelos de diferente fertilidad. Biomasa aérea obtenida de la suma de hojas, ramas, troncos y partes reproductivas; los datos son medias de $n = 3$.

CONCLUSIONES

Dentro de un período de análisis de cinco años y tomando al % de saturación ácida como indicador característico de la fertilidad del suelo puede concluirse que: la sucesión de monocultivos no afecta la fertilidad del suelo en comparación con la sucesión natural si las condiciones originales son de baja saturación ácida. En cambio, la empeora significativamente cuando las condiciones originales son de saturación ácida alta, produciendo un aumento continuo de la misma. En este último caso se trata de una retroalimentación negativa pues la menor fertilidad determina baja producción de biomasa lo que, a su vez, facilita los pro-

Cuadro 3. Medias (\bar{x}) de concentración de nutrientes en hojas y tallos y análisis Duncan de significancia ($p < 0.05$) para los dos grupos de suelos (G1 y G2).

	Nutrientos					
	N	P	S	Ca	Mg	K
Hojas						
G1 \bar{x}	3.15	0.20	0.24	1.70	0.68	2.57
G2 \bar{x}	2.75	0.17	0.19	1.26	0.63	2.23
$p <$	0.01	0.03	0.001	0.001	-	0.04
Tallos						
G1 \bar{x}	1.08	0.83	1.20	0.73	0.46	1.80
G2 \bar{x}	0.92	0.71	0.94	0.62	0.42	1.52
$p <$	0.04	-	-	0.02	-	0.03

Se incluyen todas las fechas de muestreo, $n = 36$; las concentraciones de nutrientes expresadas en %; - indica diferencias no significativas.

cesos de lavado de nutrimentos. Los ecosistemas de mayor diversidad aseguran una determinada producción de biomasa, de manera que no hay diferencias entre suelos de mayor y menor fertilidad; las diferencias en este caso aparecen a nivel de concentración de nutrimentos en la biomasa.

El mantenimiento del suelo sin cubierta vegetal conduce a un aumento continuo de la saturación ácida, con todo lo que ello implica: aumento de acidez

intercambiable, pérdida de bases, disminución de la actividad microbiana y un aumento notable de la retención de fósforo. De todas maneras, las pérdidas de materia orgánica no son tan severas como podría esperarse.

Si bien los suelos volcánicos aparecen en la bibliografía como ricos en nutrimentos respecto a Oxisoles y Ultisoles, no son homogéneos. El ejemplo ofrecido en el presente trabajo muestra claramente la gran variabilidad en la fertilidad existente y sus consecuencias.

LITERATURA CITADA

1. AHN, P.M. 1974. Some observations on basic and applied research in shifting cultivation. *FAO Soil Bull.* 24:123-154.
2. ALVARADO, A.; BERISH, C.; PERALTA, F. 1981. Leaf-cutter ant influence on the morphology of Andepts in Costa Rica. *Soil Science Society of America Journal* 45:790-794.
3. BROWN, B. 1982. Productivity and herbivory in high and low diversity tropical successional ecosystems in Costa Rica. Dissertation, University of Florida, Gainesville.
4. COLEMAN, N.T.; WEED, S.B.; McCracken, R.J. 1959. Cation-exchange capacity and exchangeable cations in piedmont soils of North Carolina. *Soil Science Society of America Proceeding* 23:146-149.
5. EWEL, J.J.; BERISH, C.; BROWN, B.; PRICE, N.; RAICH, J. 1981. Slash and burn impacts on a Costa Rican wet forest site. *Ecology* 62(3):816-829.
6. FOX, R.L.; KAMPRATH, E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 34:902-907.
7. FOX, R.L. 1980. Soils with variable charge: agronomic and fertility aspects. In *Soils with variable charge*. Ed by B.K.G. Theng. *New Zealand Soc. of Soil Sci. Chap.* 11:195-224.
8. JORDAN, C.F. 1985. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. *John Wiley*. 190 p.
9. JORDAN, C.F.; HERRERA, R. 1981. Tropical rain forests: are nutrients really critical?. *The American Naturalist* 117(2):167-180.
10. MARTINI, J.A. 1969. Geographic distribution and characteristics of volcanic ash soil in Central America. In *Panel on volcanic ash soils in Latin America*. Turrialba, C.R., IICA.
11. MAZZARINO, M.J.; EWEL, J.J.; BERISH, C. Soil nutrient availability under different experimental ecosystems on tropical Andepts. En preparación.
12. NYE, P.H.; GREENLAND, D.J. 1960. The soil under shifting cultivation. *Common. Bureau of Soils. Harpenden Tech. Comm.* No. 51.
13. SANCHEZ, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. *John Wiley*. 660 p.
14. SANCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H.; BANDY, D.E. 1983. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Science Society of America Journal* 47:1171-1178.
15. TOSI, J.A. 1969. República de Costa Rica, mapa ecológico. San José, C.R. *Tropical Science Center*.
16. UHL, C.; JORDAN, C.F. 1984. Vegetation and nutrient dynamics during the first five years of succession following forest cutting and burning in the Río Negro region of Amazonia. *Ecology* 65:1476-1490.