

Efectos Comparativos en Cultivos Intensivos sobre Nutrientes en Oxisoles Desforestados¹

J.A. Diez, A. Polo*, C. Cerri**, F. Andreux****

ABSTRACT

The purpose of this paper is to determine the effect of different treatments on pasture, cacao and cacao and rubber on recently deforested Amazonian oxisols by electro-ultrafiltration. Results, after nine years of field work, showed that the cultivated pasture maintained soil fertility levels, if there is a moderate application of N-P-K fertilizer. The application of moderate amounts of K to the pastures raised the level of available K, but not in the reserve, as these soils are unable to fix nitrogen. The response to moderate P fertilization (40 kg/ha/yr) was unexpectedly satisfactory when applied in conjunction with CaO. Soil N tended to mineralize immediately after deforestation. Applications of 80 kg N/ha/yr was sufficient for growth and increased organic N and nitrates by about 20 kg/ha/year.

COMPENDIO

El objeto del presente trabajo es valorar el efecto de diferentes tratamientos en pasto cultivado, cultivo de cacao y cultivo mixto de cacao y seringueira, aplicados a oxisoles de Amazonia recientemente desforestados, sobre la fertilidad del suelo mediante la técnica de electroultrafiltración. Los resultados, después de nueve años de experimentación, permiten concluir que el pasto cultivado contribuye a mantener los niveles de fertilidad del suelo, a condición de aplicar una fertilización moderada de N, P y K. Dosis moderadas de K a los cultivos intensivos permitieron elevar el nivel disponible en el suelo, pero no el de reserva, debido a que estos suelos carecen de capacidad de fijación de este elemento. En relación al P, contrario a lo esperado, se obtuvo una respuesta satisfactoria con la aplicación de dosis moderadas de P (40 kg/ha/año) cuando se acompañó de enmiendas calizas. El N tiende a mineralizarse en el período inmediato a la deforestación. Aplicaciones de 80 kg N/ha/año permitieron atender las necesidades del cultivo e incrementar los contenidos de N orgánico y de nitratos, aumentando el N disponible en casi 20 kg/ha/año.

INTRODUCCION

Es bien conocido el intenso proceso de deforestación que, en la actualidad, tiene lugar en la Amazonia Oriental. Al mismo tiempo, se está produciendo un rápido descenso de las condiciones de fertilidad de estos suelos —dos a tres años— después de este proceso. Ello implica cambios de

asentamiento de los colonos con el consiguiente efecto de provocar nuevas deforestaciones. Con el objeto de desacelerar estos procesos, es necesario probar diferentes sistemas agrícolas para valorar las posibles alternativas que permitan mantener la fertilidad de los suelos.

El procedimiento más utilizado actualmente para valorar la evolución de la fertilidad, se basa en controlar la dinámica de los nutrientes. Esta, por definición, se refiere a la reposición de elementos nutritivos desde el suelo a la planta a través de la solución del suelo. Se trata de un proceso en el cual las velocidades de desorción y disolución de los

¹ Recibido para publicación el 19 de julio de 1989.

* Instituto de Edafología y Biología de Madrid (CSIC), España.

** Centro de Energía Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, Brasil. Brasil.

*** Centre de Pédologie Biologique, Nancy, France.

nutrimentos desempeñan un papel decisivo. Estas velocidades de reposición están determinadas por varias propiedades del suelo, tales como el pH, el contenido y tipo de arcilla, y la materia orgánica.

El establecimiento de la velocidad de desorción de los nutrimentos solamente puede hacerse cuando estas propiedades del suelo son bien conocidas. Sin embargo, la electroultrafiltración (EUF) permite medir la velocidad de desorción y solubilidad en una simple extracción, sin que se precise la determinación de las propiedades del suelo antes mencionadas (14).

La técnica de EUF está basada en la combinación de la electrodialisis y la ultrafiltración (12), con la ventaja sobre la primera de que el pH de la suspensión permanece constante durante la extracción y, por tanto, las características del suelo se ven respetadas en el proceso.

Cuando se somete una suspensión de suelo al efecto de un campo eléctrico, la migración de los iones es directamente proporcional a la fuerza del campo y a la temperatura, e inversamente proporcional a la fuerza de unión de los iones al sustrato del suelo. Con un programa adecuado de voltajes, tiempos, temperaturas e intensidad de corriente es posible separar fracciones de nutrimentos con diferente fuerza de unión, cuya información es de vital importancia para la nutrición de la planta.

En el caso de los suelos amazónicos, son todavía mal conocidos los factores responsables del cambio de sus propiedades y la pérdida de su fertilidad debido a la deforestación y al cultivo. El objeto del presente trabajo es aplicar la técnica de EUF a estos suelos para valorar su efecto sobre la fertilidad según los siguientes tratamientos: a) pasto cultivado, b) cultivo intensivo de cacao, y c) cultivo intensivo de cacao asociado a seringueira, todos ellos durante un período de nueve años. La aplicación de EUF a este tipo de suelos tiene limitados antecedentes en los trabajos de Nemeth *et al.* (14) y Diez *et al.* (6 y 7).

MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo de este trabajo se eligió una finca de experimentación controlada por la Empresa Brasileña de Pesquisas Agropecuarias (EMBRAPA), situada en Capitán Poço, a 200 km al oeste de Belém (PA). El clima del área en aquella región nordeste

del estado de Pará es húmedo con una estación seca de uno o dos meses. Las precipitaciones medias anuales son de 2500 mm; la estación lluviosa, entre los meses de enero y junio, y la seca, entre octubre y noviembre. La temperatura media es de 26.9°C, con una amplitud de 2.4°C entre el mes más caliente (julio) y el más frío (enero).

Los suelos estudiados están localizados en una zona de topografía plana ligeramente ondulada. Según Araujo (1) son latosoles amarillos de textura media a gruesa y arenas cuarzosas en las partes bajas. Sin embargo, Rego *et al.* (18) identifican en el área suelos lateríticos concrecionados y latosoles amarillos podzolizados. Los perfiles son todos parecidos. El horizonte A1 consta de una primera capa (horizonte A11) de color ceniza oscuro (10YR 3/3) de estructura granular y textura arenosa con granos de cuarzo gruesos, abundantes raíces y porosidad alta. La segunda capa (horizonte A12) de color marrón ceniza (10YR 4/3) presenta manchas moteadas difusas y una estructura granular más frágil que la capa superior. Entre los 10 cm y 40 cm, aparece una zona heterogénea con abundantes manchas de óxidos de hierro, en relación con la existencia de un proceso de hidromorfia. Los horizontes situados entre 50 cm y 150 cm están caracterizados por un color amarillo (10YR 5/6 a 6/8), y una alta compactación que va disminuyendo a medida que aumenta la profundidad. Manchas de color ceniza o de óxido de hierro pueden aparecer pero son escasas en los suelos bajo pasto.

En esta zona de bosque natural, después de deforestar y quemar y con objeto de valorar la evolución de la fertilidad del suelo con el tiempo, se han aplicado los siguientes tratamientos:

- 1) **Pasto de nueve años.** Una vez efectuado el desmatamiento y procedido a su quema, se sembró *Pennisetum maximum* (hierba elefante), gramínea forrajera bien adaptada a este tipo de suelo y poco exigente en fósforo (9). Este pasto se mantuvo durante un período de nueve años, transcurrido el cual se efectuó la toma de muestra.
- 2) **Cultivo intensivo de cacao.** Una vez que tuvo lugar la deforestación, se procedió a la quema y, posteriormente, a la implantación de un cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) que se mantuvo durante nueve años. En este tiempo el cultivo fue fertilizado anualmente, recibiendo

hasta el momento las siguientes dosis acumuladas de fertilizantes: 749 kg N/ha, 850 kg P205/ha, 782 kg K20/ha, 445 kg CaO/ha y 254 kg MgO por hectárea.

La producción de cacao ha oscilado de unos años a otros. Se tomó como referencia el obtenido en 1985, esto es de 1300 kg de almendra por hectárea.

- 3) **Cultivo intensivo de cacao y seringueira.** En una secuencia similar a la mostrada en el caso anterior, después de quemar, se procedió a la implantación de un cultivo mixto (*T. cacao*) y seringueira (*Hevea brasiliensis*). Esta asociación es frecuente, dada la sensibilidad de la planta de cacao a la intensidad luminosa, de tal manera que el mayor porte de la seringueira permite el sombreado del cacao. Desde la implantación del cultivo hasta el momento de la toma de muestras de suelo han transcurrido nueve años, durante los cuales se ha fertilizado anualmente, habiendo recibido hasta ahora las siguientes dosis acumuladas: 765 kg N/ha, 828 kg P205/ha, 744 kg K20/ha, 1969 kg CaO/ha y 235 kg MgO por hectárea.

Las muestras fueron recolectadas en cuatro diferentes profundidades: en el pasto, 0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm; en el cacao, 0 - 10 cm y 10 - 20 cm, y en cacao con seringueira entre 0 - 3 cm, 3 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 centímetros.

Una vez desecadas y tamizadas las muestras de 2 mm, se determinaron diferentes parámetros físico-químicos. El contenido en carbono se realizó mediante el analizador CARMOGRAPH-12, y el N total por el método Kjeldahl, valorando el NH₄⁺ mediante el autoanalizador Technicon AA II. El pH se determinó en una suspensión de suelo en agua en pasta saturada.

Los contenidos de arcilla total presentes en el suelo, fueron valorados por granulometría mediante el método de la pipeta de Robinson y de arcilla selectiva por EUF según el protocolo establecido por Diez *et al.* (4), con el objeto de valorar la actividad de la arcilla frente a los nutrientes.

El estudio de la dinámica de los nutrientes se realizó mediante la técnica de electroultrafiltración (13), siguiendo el programa siguiente:

Fracción I: 30 mn; 20 C, 200 V, 15 mA máximo.

Fracción II: 5 mn; 80 C, 400 V, 150 mA máximo.

Para proceder a la extracción de las muestras, se introdujeron 5 g de suelo, tamizados a 1 mm, en la cámara central en una relación suelo/agua 5/50.

En los extractos de EUF, una vez mezclados los procedentes del cátodo con los del ánodo, correspondientes a cada fracción, se determinó el contenido de K y Ca mediante fotometría de llama, y el P con el autoanalizador por el método del molibdato amónico.

En el filtro del cátodo, tratado con HCl 2N, se determinaron el Mg, Fe y Al mediante espectrofotometría de absorción atómica. En el caso del Mg también se fijó su contenido en los extractos, de tal manera que la cifra en el Cuadro 2 es la suma del procedente de los extractos más el filtro.

Así mismo, en los extractos de EUF, se determinó el N total (EUF-N) mediante irradiación ultravioleta y oxidación con persulfato potásico en medio alcalino, para transformar todos los compuestos nitrogenados en nitratos (4) y, posteriormente, valorarlos por el método de la N1 naftiletildiamina, todo ello integrado en un sistema de autoanalizador. Paralelamente, en otro canal se determinó el contenido de nitrato presente en los extractos antes de la oxidación (EUF-NO₃). Ambas determinaciones fueron realizadas mezclando los extractos de cátodo y ánodo.

Por diferencia entre EUF-N total y EUF-NO₃ se determinó el contenido en EUF-N orgánico, el cual está constituido por compuestos nitrogenados de bajo peso molecular y representa la fracción de N orgánico que, previsiblemente, se mineralizará a corto plazo.

Finalmente se determinó un parámetro de N disponible, considerando que cada mg N/100 g, extraído por EUF en forma de NO₃⁻, equivale a 30 kg N/ha y cada mg N/100 g de N orgánico a 50 kg N/ha (15).

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se muestran algunas de las propiedades de los suelos con y sin tratamientos. Los valores de pH, en general, son bajos, pero se observa un claro efecto positivo con cualquiera de los tratamientos, comparado con el bosque natural, a pesar del tiempo transcurrido desde la práctica del quemado que —como se sabe— tiende a elevar acusadamente el pH del suelo.

Los contenidos de carbono orgánico en suelos bajo bosque natural presentan una distribución característica de los oxisoles del trópico húmedo, con concentraciones relativamente altas en los primeros 10 cm, un brusco descenso en los siguientes 10 cm y una disminución progresiva con la profundidad (10). En los suelos en barbecho, de seis a ocho años, se observa un aumento de los contenidos en los primeros 40 cm, especialmente en el horizonte 10 - 20 cm en relación con el suelo con vegetación natural.

Cuadro 1 Algunas características físico-químicas del bosque natural y del mismo suelo después de diferentes tratamientos.

Tratamientos	Profundidad (cm)	pH (agua)	Nitrógeno (%)	Arcilla selectiva (%)
Bosque natural	0-10	3.60	0.187	10
	10-20	3.60	0.067	5
	20-40	4.20	0.043	—
	40-60	4.40	0.030	—
Pasto	0-10	5.30	0.084	5
	10-20	5.00	0.057	5
	20-40	4.80	0.038	—
	40-60	4.70	0.030	—
Cacao	0-10	4.70	0.144	15
	10-20	4.25	0.075	5
Cacao + caucho	0-3	5.05	0.219	15
	3-10	4.50	0.092	5
	10-20	4.40	0.061	5
	20-40	4.60	0.036	—
	40-60	4.70	0.033	—

Comparativamente, el suelo de pasto muestra una disminución relativa del contenido de carbono en el horizonte 0 - 20 cm y ningún aumento notable en los más profundos.

La textura no presenta variaciones especiales en los suelos de la región, pero sí algunos cambios en el espesor de cada horizonte (10, 11). En los horizontes 0 - 10 cm y 10 - 20 cm predomina la fracción de arenas (67% - 88%) con variable distribución entre arenas finas y gruesas. El limo es poco abundante (8% a 12%) y la fracción de arcilla varía entre 15% y 25%, con mínimos menores del 10% en los primeros dos centímetros debido al empobrecimiento superficial por arrastre y lixiviación. A partir del horizonte 20 - 30 cm se observa un descenso de la fracción de arenas finas y un aumento de la de arcilla que llega a alcanzar valores del 40% en los horizontes más profundos.

Sin embargo, el contenido en arcilla selectiva (4) es especialmente bajo como corresponde a suelos con predominio de caolinita (5). En general, los contenidos de nitrógeno total pueden considerarse altos, sobre todo en el horizonte superficial.

Dinámica del potasio

En la Figura 1 y en el Cuadro 2 puede apreciarse la variación de los contenidos de EUF-K 20°C (K disponible) con la profundidad en cada uno de los tratamientos. Los contenidos en K son considerablemente más altos en los horizontes superficiales, observándose un agudo descenso entre los 10 cm y 20 cm, a partir del cual se detectan contenidos dos a tres veces más bajos.

La dinámica del K es claramente diferente en los suelos que no recibieron fertilización potásica respecto

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos sobre la dinámica del P, K, Ca, Mg, Fe y Al en el suelo, determinada mediante electroultrafiltración.

Tratamientos	Profundidad (cm)	EUF-P*		EUF-K*		Ca*	Mg*	Fe (ppm)	Al (ppm)
		20°C	80°C	20°C	80°C				
Bosque natural	0-10	0.14	0.10	2.52	0.4	7.5	1.55	-	0.72
	10-20	0.03	0.02	1.04	0.2	7.8	1.59	-	1.20
	20-40	-	-	0.56	-	8.7	0.33	-	2.50
	40-60	-	-	0.26	-	8.0	0.33	-	1.80
Pasto de nueve años	0-10	-	-	1.76	0.2	9.8	0.90	-	0.26
	10-20	-	-	0.78	0.2	10.8	0.30	-	0.28
	20-40	-	-	0.22	-	8.3	0.60	-	0.30
	40-60	-	-	0.28	-	9.3	0.68	-	0.44
Cacao	0-10	1.50	0.60	9.90	0.8	21.1	3.10	-	0.82
	10-20	0.05	0.04	1.04	0.2	12.0	1.60	3.8	1.06
Cacao + caucho	0-3	0.64	0.80	9.28	0.8	20.2	1.88	-	0.48
	3-10	0.11	0.18	1.10	0.2	13.0	1.13	0.8	0.34
	10-20	0.01	0.01	1.12	0.2	12.4	1.10	-	0.50
	20-40	-	-	0.28	-	10.8	0.38	-	-
	40-60	-	-	0.84	-	10.3	0.30	-	0.86

* mg/100 g

de los que fueron fertilizados (Cuadro 2). En el pasto, los niveles observados son ligeramente inferiores a los mostrados por el bosque natural, lo cual indica el moderado efecto de deterioro de este tratamiento respecto de K, considerando el prolongado período de nueve años transcurridos desde el comienzo del experimento. Sin embargo, como ya ha sido indicado por Diez *et al.* (7), esta práctica exige que sea complementada con una fertilización potásica.

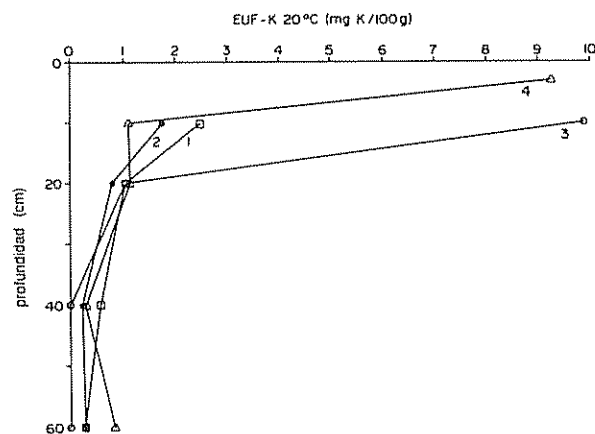


Fig. 1 Variación con la profundidad de EUF-K 20°C (K disponible) con los tratamientos 1 (bosque natural); 2 (pasto de nueve años); 3 (cacao); 4 (cacao más seringueira).

En los otros dos tratamientos con cacao se observan valores más altos de K, como corresponde a suelos que han recibido fertilización potásica en forma periódica.

En el caso del cultivo de cacao, se han aplicado 72 kg de K/ha/año. Ello ha provocado que de los 75 kg K/ha detectados en la fracción EUF-F 20°C en el horizonte 0 - 10 cm del bosque natural, se haya pasado al cabo de nueve años de experimentación a 297 kg K/ha (equivalente a EUF-K 20°C = 9.9 mg K/100 g). En consecuencia, la dosis aplicada está por encima del K exportado por el cultivo, originando un incremento del K disponible anual de 24.6 kg K/ha (EUF-K 20°C), probablemente restituido por la caída de hojas. Ello demuestra que, en este tipo de suelos, la aplicación anual de dosis moderadas permite aumentar el nivel de K disponible, dada la escasa o nula capacidad de fijación de K en estos suelos. En cambio, las reservas de K (EUF-K 80°C) aumentan muy débilmente.

Este resultado no sólo es consecuencia de la fertilización potásica si no de la aplicación simultánea de 50 kg de CaO/ha/año, lo que, de alguna manera, ha contribuido a disminuir la concentración de K en la solución del suelo, al tiempo que aumenta el K de cambio (14).

En el tratamiento del cultivo mixto de cacao con seringueira, se observan resultados similares al anterior. Con una tasa de fertilización anual de 83 kg K20/ha, equivalente a 69 kg K/ha, se consiguió elevar el nivel de K disponible en el horizonte superficial a 278 kg/ha (equivalente a $EUA-K 20^{\circ}C = 9.28 \text{ mg k/100 g}$), originando un incremento de K disponible anual de 22.5 kg de potasio por hectárea.

En conclusión, se puede decir que el pasto precisa fertilización potásica en el orden de 100 kg K20/ha anuales para recuperar los niveles de fertilidad. Respecto de otros tratamientos, parece recomendable mantener las dosis de fertilización potásica aplicadas hasta el momento, con la consideración de que, en la actualidad, los valores observados están próximos al óptimo, momento a partir del cual podrían reducirse dichas dosis.

Dinámica del fósforo

También en la dinámica P se detectan dos comportamientos diferentes entre los suelos fertilizados y los que no lo fueron. En general, los valores más altos aparecen en los horizontes superficiales, observándose que, por debajo de los 20 cm, no se detecta la presencia de P (Cuadro 2).

El pasto, en relación con el bosque natural, muestra un ligero descenso en los niveles de P en los horizontes superficiales. Esto se debe a los bajos contenidos de este elemento en el suelo, tanto en forma disponible como en sus reservas, lo que hace que el P absorbido por el pasto con el tiempo supere al P movilizado, como consecuencia del incremento de pH y el descenso del Al de cambio, por efecto del quemado. Esto confirma observaciones anteriores sobre la existencia de carencias fosfatadas en los pastos de Amazonia.

Por el contrario, el comportamiento de la dinámica del P en los suelos con cultivos que recibieron fertilización fosfatada es muy diferente. En el caso del cacao, la aplicación anual de 41 kg de P/ha, hizo que aumentase el P disponible de 4.2 kg P/ha (equivalente a $EUF-P 20^{\circ}C = 0.14 \text{ mg P/100 g}$) a 45 kg P/ha (equivalente a 1.5 mg P/100 g) durante los nueve años del experimento. Ello supone que de los 41 kg P/ha aplicados anualmente, se incremente el P disponible ($EUF-P 20^{\circ}C$) en 4.5 kg y las reservas de P ($EUF-P 80^{\circ}C$) en 1.7 kg, además que satisface las

necesidades de absorción de P por el cultivo. El resto contribuirá a incrementar el P fijado, dadas las características de pH y contenido en Al de estos suelos.

Es evidente que estos resultados que pueden considerarse como satisfactorios, se deben, en gran parte, a la aplicación simultánea de 50 kg CaO/ha que contribuyen a elevar el pH del suelo y sobre todo a inmovilizar parcialmente el Al presente en el mismo. Este tratamiento conduce a un balance positivo en relación con la dinámica del P, permitiendo restablecer los niveles óptimos a medio plazo.

En el caso del cultivo de cacao con seringueira, se observó que la aplicación de 40 kg P/ha/año permitió atender las necesidades del cultivo aunque en forma precaria, dadas las bajas concentraciones de P en la solución del suelo y la deficiente capacidad de reposición de P a la solución. Igualmente ha permitido incrementar el P disponible en 1.6 kg/ha/año pasando de 4.2 kg/ha en la mata (equivalente a $EUF-P 20^{\circ}C = 0.14 \text{ mg K/100 g}$) a 19.2 kg/ha (equivalente a $EUF-P 20^{\circ}C = 0.64 \text{ mg K/100 g}$) al cabo de nueve años de tratamiento. Además dicha fertilización ha permitido incrementar el P de reserva a razón de 2.66 kg/ha/año (equivalente a $EUF-P 80^{\circ}C = 0.8 \text{ mg P/100 g}$), valor ligeramente superior al alcanzado en el cultivo de cacao, a pesar de la fijación de P en estos suelos.

Comparando los resultados del cultivo de cacao con seringueira con los de cacao, se puede decir que la fertilización fosfatada aplicada en el primer caso fue insuficiente para recuperar los niveles de fertilidad, aunque las dosis de P, aplicadas en ambos casos, fueron similares y el encalado fue cinco veces superior en el caso de cacao con seringueira. Ello se debe a que la exportación de P fue superior en este último caso.

Contenido de metales pesados

En el extracto del filtro del cátodo se detecta la presencia de Al en diferentes proporciones en todos los horizontes, a diferencia del Fe que aparece en escasas ocasiones.

En el Cuadro 2 se puede observar que en pasto se origina un descenso de Al con respecto del bosque

natural, debido al efecto del quemado en un principio y al del propio tratamiento que consigue mantener el pH en valores superiores.

Por otra parte, se detecta una clara diferencia entre el alto nivel de Al en el cacao solo, comparado con el que tiene seringueira. Ello se debe a la mayor dosis de CaO aplicada en el segundo que hace que aumente el pH y disminuya el Al.

Dinámica del calcio y del magnesio

En los suelos que no han recibido enmiendas calizas (bosque natural y pasto), los niveles de calcio (Ca) fueron similares en los diferentes horizontes, por lo que se debe destacar que en el pasto el efecto del quemado ha desaparecido al cabo de nueve años. En cambio, en los que recibieron fertilización se detectan valores mayores en los horizontes superficiales, lo que muestra la lenta translocación del Ca aplicado en el horizonte superficial para alcanzar niveles más profundos.

Por otra parte, se debe comentar que en el cultivo de cacao, la aplicación anual de 50 kg CaO/ha permitió elevar muy débilmente el pH, mientras que los niveles de EUF-Al no se vieron afectados significativamente. En cambio, en el cultivo de cacao con seringueira, la dosis de 190 kg CaO/ha/año permitió elevar significativamente el pH del suelo a 5.05, reduciendo apreciablemente los contenidos de EUF-Al.

En el caso del magnesio (Mg) se observa que en todos los casos los niveles más altos se dan en el horizonte superficial. En cuanto a los tratamientos, el pasto es el que muestra un valor bajo, por lo que a la vista de estos resultados parece conveniente la aplicación de Mg. Las dosis de Mg aplicadas a los cultivos fueron similares en ambos casos, detectándose valores superiores en el horizonte superficial en el cultivo de cacao.

Dinámica del nitrógeno

La EUF permite la determinación de los contenidos de NO_3^- y de N orgánico con bajo peso molecular, constituido principalmente por aminoácidos (13). En la Figura 3 se muestran los diagramas de ambas formas de N en el bosque natural y en cada uno de los tratamientos.

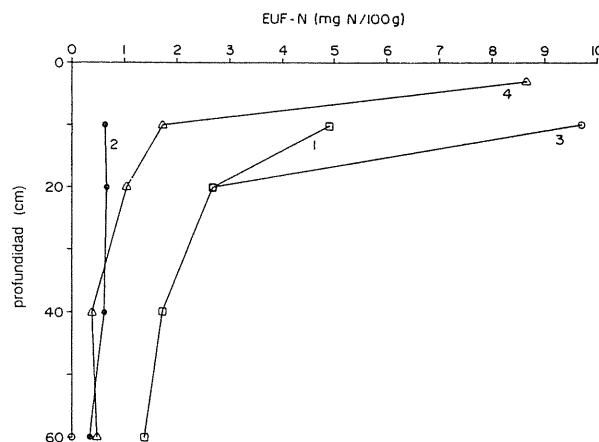


Fig. 2. Variación con la profundidad del contenido de EUF-N, con los tratamientos 1 (bosque natural); 2 (pasto de nueve años); 3 (cacao); 4 (cacao más seringueira).

En general, se observa que los contenidos de N descenden con la profundidad, correspondiendo los valores más altos a los suelos que han recibido fertilización nitrogenada (Fig. 2).

En el bosque natural se puede apreciar que la relación entre EUF-N org/EUF- NO_3^- se mantiene a niveles similares en los distintos horizontes (1.67 de 0 cm a 10 cm y 1.55 de 40 cm a 60 cm) (Cuadro 3), con un ligero predominio de la fracción orgánica sobre la mineral, lo que indica que los aportes de N son más intensos que el proceso de nitrificación.

En el caso del pasto de nueve años, y como ya ha sido también comentado por Diez *et al.* (7), la deforestación origina un proceso degradante del N del suelo, que sólo puede ser compensado con la aplicación de adecuadas dosis de fertilización nitrogenada.

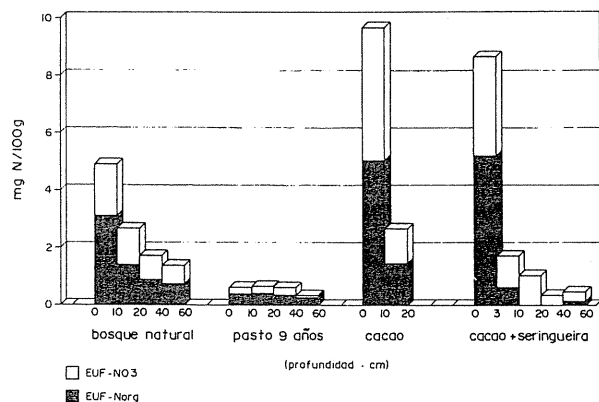


Fig. 3. Diagrama de distribución de EUF- NO_3^- , EUF-N orgánico y EUF-N en los diferentes horizontes, con los tratamientos.

El cultivo del pasto origina un nuevo ciclo del N que, por sí mismo, no consigue compensar las pérdidas originadas por la degradación. Durante este proceso se observa un descenso de ambas formas de N, pero de manera más acusada del N orgánico, lo que indica que en este caso los procesos oxidantes (nitrificación) están acelerados, como lo demuestran los altos valores de la relación EUF-N orgánico $80^{\circ}\text{C}/\text{EUF-N org. } 20^{\circ}\text{C}$, indicando la capacidad para movilizar N desde sus reservas (17).

En el pasto, la actividad microbiana evaluada a través de la relación EUF-N orgánico/EUF- NO_3^- (17), da valores ligeramente inferiores a los mostrados por el bosque natural, y la relación EUF- $\text{NO}_3^-/\text{EUF-N}$ de 0.43 es relativamente baja, lo cual significa que en el supuesto de que se procediera a la fertilización nitrogenada en este suelo, se originaría un moderado proceso de inmovilización de N.

El balance de N disponible en el pasto permite evaluar las pérdidas globales durante los nueve años del experimento en 184 kg N/ha, lo que representa una tasa anual de 20 kg N/ha/año.

En cuanto al cultivo de cacao, la situación es diferente, debido principalmente a la fertilización

nitrogenada. La aplicación de 83 kg N/ha/año permitió abastecer de N al cultivo e incrementar el N disponible del suelo en 182 kg/ha, lo que representa una tasa de crecimiento anual de 20 kg de N por hectárea.

El incremento del N del suelo afectó ambas formas de N, el NO_3^- y el N orgánico en beneficio de la primera. Como consecuencia la actividad microbiana (17) es menor que en el bosque natural (Cuadro 3).

Por otra parte, la capacidad de movilización del N de sus reservas es apreciablemente baja (EUF-N orgánico $80^{\circ}\text{C}/\text{EUF-N orgánico } 20^{\circ}\text{C} = 0.17$). En esta situación, este suelo originará una moderada inmovilización de N cuando se procede a la fertilización con este elemento.

Finalmente se analizará el estado del N en el caso del cultivo mixto de cacao y seringueira, que también fue fertilizado con ese elemento. La aplicación de 85 kg N/ha/año permitió abastecer el cultivo e incrementar el N disponible en 150 kg/ha, lo que representa una tasa de crecimiento anual de 17.7 kg/ha. Comparando estos resultados con los del cacao, se observa que la exportación de N por este cultivo es más intensa.

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos sobre las relaciones de los parámetros de nitrógeno, determinado mediante la técnica de electro-ultrafiltración.

Tratamientos	Profundidad (cm)	Actividad microbiana	Capacidad de	Possible movilización	N disponible (kg N/ha)
		EUF-N org.	movilización de N	del N aplicado	
		EUF-NO_3^-	EUF-N org. 80°C	EUF-NO_3^-	
			EUF-N org. 20°C	EUF-N	
Bosque natural	0-10	1.67	0.42	0.37	209
	10-20	1.14	0.57	0.46	109
	20-40	1.07	1.40	0.48	69
	40-60	1.55	1.62	0.39	558
Pasto de nueve años	0-10	1.29	16.00	0.43	25
	10-20	1.12	10.60	0.47	27
	20-40	4.16	2.76	0.19	29
	40-60	1.26	12.00	0.44	14
Cacao	0-10	1.07	0.17	0.48	391
	10-20	0.98	0.64	0.50	107
Cacao + caucho	0-3	1.51	0.22	0.40	369
	3-10	0.49	1.33	0.66	63
	10-20	-	16.00	1.00	31
	20-40	-	16.00	1.00	12
	40-60	0.20	16.00	0.83	16

El incremento final de N en el suelo afectó ambas formas de N, obteniéndose una relación EUF·N org/EUF NO₃ de 1.51, muy similar a la mostrada por el bosque natural. En la Fig. 3 se puede observar que los niveles de N descienden con la profundidad, pero en este caso el descenso es especialmente brusco entre los horizontes de 0 cm - 3 cm y 3 cm - 10 cm, lo que se explica fácilmente por la importante reposición de hojas en el horizonte superficial. En los horizontes inferiores sólo se detecta la presencia de NO₃ en bajas proporciones, debido, probablemente, a su gran movilidad en el suelo.

La actividad microbiana en este tratamiento es muy similar a la del bosque natural. La capacidad de movilización del N es apreciablemente baja en el horizonte superficial y mayor en los más profundos. La posible inmovilización de N solamente se daría en el horizonte superficial, donde la actividad microbiana es alta y hay un predominio de N orgánico, mientras que, en el resto, quedaría disponible.

CONCLUSIONES

Es evidente que cualquiera de las prácticas de cultivo experimentadas degradan la fertilidad del suelo, si se comparan los resultados con los del bosque natural. Sin embargo, considerando los resultados obtenidos en éste y en anteriores trabajos (6, 7), el pasto cultivado y mantenido en buenas condiciones de manejo representa una alternativa viable siempre que vaya acompañado de una fertilización moderada de nitrógeno, fósforo y potasio. Según Diez *et al.* (7), esta práctica eleva el pH del suelo, reduce la actividad del Al, aumenta la actividad del P, incrementa los valores de K en comparación con los del barbecho, aumenta la actividad biológica del suelo y muestra una tendencia a mantener el N disponible.

En este tipo de suelos la aplicación de dosis moderadas de K (70 kg K/ha) permitió abastecer adecuadamente a cada uno de los cultivos de cacao estudiados e incrementar el nivel de K disponible, pero no el K de reserva, lo que demuestra la escasa o nula capacidad de fijación de potasio.

Contra cualquier pronóstico, en este tipo de suelos, se obtuvo una respuesta satisfactoria con la aplicación de dosis moderadas de P (40 kg P/ha/año) cuando

fueron acompañadas de enmiendas calizas en el cultivo de cacao. Sin embargo, dosis similares de fósforo aplicadas en el cultivo mixto de cacao con seringueira fueron insuficientes para recuperar el nivel de fertilidad del suelo a pesar de aplicar CaO en dosis cinco veces superiores.

Aplicaciones del orden de 80 kg N/ha/año permitieron atender las necesidades de los cultivos de cacao e incrementar ambas formas de nitrógeno (orgánico y nitratos), aumentando el N disponible en 20 kg/ha/año en ambos casos.

Así mismo, se demuestra el interés que presenta la aplicación de la EUF al estudio de la dinámica de nutrimentos en oxisoles, al aportar una información más amplia con otras técnicas, lo que permite predecir las reacciones de los fertilizantes y racionalizar la recuperación de la fertilidad de los suelos de esta región.

LITERATURA CITADA

1. ARAUJO, J.V. 1973. Levantamento exploratório de solos da folha SA 23 Sao Luiz e parte da folha SA 24: Fortaleza. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral (Bra.), Projeto RADAM, Levantamento de Recursos Naturais. v. 3.
2. DIEZ, J.A. 1985. Estimación del contenido en arcilla activa de K mediante electroultrafiltración. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 44:1421-1431.
3. DIEZ, J.A.; CADAHIA, C.; GARATE, A.; REVILLA, E. 1985. Estudio de la dinámica de nutrientes mediante EUF como base de la fertilización. Madrid, CSIC-UAM. 175 p.
4. DIEZ, J.A. 1985. Determinación del N.U.V. oxidable y nitrato, en extractos de suelos mediante autoanálizador. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 44:1453-1464.
5. DIEZ, J.A.; MIFSUD, A.; GALLEGU, M.T. 1987. Assessment of soil clay components by electroultrafiltration. *Agrochimica (Italia)* 31:355-366.

6. DIEZ, J.A.; POLO, A.; CERRI, C.; ANDREUX, F. 1989. Estudio de la capacidad nutriente de los oxisoles desarrollados sobre bosque tropical de Amazonia. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)*.

En prensa
7. DIEZ, J.A.; POLO, A.; CERRI, C.; ANDREUX, F. 1989. Influencia del barbecho y del pasto sobre la dinámica de nutrientes de oxisoles recientemente desforestados en Amazonia Oriental. PAB.

En prensa.
8. FEARNISIDE, P.M. 1987. Causes of deforestation in the Brazilian Amazon. In R.F. Dickinson (Ed.). *The Geophisiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions*. New York, Wiley. p. 37-53.
9. LOBATO, E.; KORNELIUS, E.; SANZONOWIEZ, C. 1986. Adubação fosfatada em pastagem. I. In Simposio sobre Calagem e Edubação de Pastagem. (Piracicaba, Bra.). Piracicaba, Ass. Bras. Pesq. Potassa e Fosfato. p. 145-174.
10. MARTINS, P.F.S.; CERRI, C.C. 1986. O solo de um ecossistema natural de floresta localizado na Amazonia Oriental. I. Caracterização química e física. In Simposio do Trópico Umido (1., Belém, Bra.). *Anais*. p. 271-286.
11. MARTINS, P.F.S.; CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F.; CHAUVEL, A. 1989. Consequences of clearing and tillage on the soil of a natural Amazonian ecosystem.

In press
12. NEMETH, K. 1972. The determination of desorption and solubility rates of nutrients in the soil by means of electroultrafiltration (EUF). In *Colloq. Int. Potash Inst. (9., Berna, Suiza)*. Proceedings. p. 3-12.
13. NEMETH, K. 1979. The availability of nutrients in the soil as determined by electroultrafiltration (EUF). *Advances in Agronomy (EE.UU.)* 31:155-187.
14. NEMETH, K. 1981. Nutrient dynamic in some humid tropical soils as determined by EUF. In *Int. Conf. "Phospotrops"*. Proceedings. Kuala Lumpur, Malasia. p. 1-14.
15. NEMETH, K. 1985. Recent advances in EUF research (1980 - 1983). *Plant and Soil (Holanda)* 83:1-19.
16. NEMETH, K. 1988. EUF-nitrogen determination and EUF-nitrogen fertilizer recommendation. In *EUF-Symposium*. Mannheim, West Germany. p. 14-46.
17. NEMETH, K. 1988. EUF-phosphate determination and EUF-phosphate fertilizer recommendation. In *EUF-Symposium*. Mannheim, West Germany. p. 47-70.
18. REGO, R.S.; VIEIRA, L.S.; AMARAL, FILHO, Z.P.; SANTOS, P.L.; LOPEZ, D.N.; REIS, C.M.; GAMA, J.R.N.F.; COSTA, M.F.; SERRUYA, L.M. 1973. Estudo detalhado de uma área do município de Capitaó Poço Belém, Bra., Instituto de Desenvolvimento Económico-Social do Estado do Pará. *Série Cadernos Paraenses* no. 9. 117 p.
19. SIOLI, H. 1984. The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. H. Sioli (Ed.). *Netherlands, Junk*. p. 127-165.