



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION Y
PROMOCION AGROPECUARIA



NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY

CIPA XVI-ESTACION EXPERIMENTAL DE YURIMAGUAS

PROGRAMA DE SUELOS TROPICALES

YURIMAGUAS, PERU

DINAMICA DE NUTRIENTES DESPUES DEL
DESMONTE DE UN BOSQUE TROPICAL EN EL PERU ¹

P.A. SANCHEZ, J.H. VILLACHICA Y D.E. BANDY ²

SERIE DE SEPARATAS

N° 7

DINAMICA DE NUTRIENTES DESPUES DEL DESMONTE DE UN BOSQUE TROPICAL
EN EL PERU¹

P. A. SANCHEZ, J. H. VILLACHICA Y D.E. BANDY²

RESUMEN

Este artículo describe los cambios en las propiedades del suelo durante los primeros 8 años después de desmontar una purma (bosque secundario) de 17 años sobre un suelo Paleudult Típico, tronco fino, silíceo, isohipertérmico en Yurimaguas, Perú y sometido a producción continua de cultivo de ciclo corto. La quema aumentó el pH, la disponibilidad de N, P, K, Ca y Mg, disminuyó la toxicidad del Al en la capa superficial del suelo. Seis meses después de la quema, los niveles de N y K disponibles disminuyeron conjuntamente con la aparición esporádica de deficiencias de S, Cu y B. El C orgánico y el N total del suelo superficial, disminuyeron en un 25% durante el primer año, alcanzando posteriormente un equilibrio. La rápida descomposición de la materia orgánica probablemente liberó al ligado a la materia orgánica, el cual revirtió el efecto encalante de la ceniza. El P y Mg entraron en deficiencia durante el segundo año, el Ca dentro de los primeros treinta meses y el Zn y Mn durante el cuarto año. Las deficiencias de Mo se presentaron esporádicamente, particularmente cuando se usó semilla de leguminosa producida localmente. Las propiedades químicas del suelo mejoraron con el cultivo continuo debido a las adiciones de cal y fertilizantes. Después de 8 años y 21 cultivos, el pH del suelo superficial aumentó a 5.6, el Ca cambiante aumentó 10 veces, la CIC efectiva se duplicó, el P disponible aumentó de 5 a 39 mg kg⁻¹, y la saturación del Al disminuyó de 82 a 1% .

¹ Publicación N°8549 del Servicio de Investigación Agrícola de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, Raleigh, NC 27650. Contribución del Programa de Investigación de Suelos Tropicales de la Universidad Estatal de Carolina del Norte conducido conjuntamente con el Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria del Perú (INIPA) y financiado por la U.S.A.I.D. Traducción del inglés original publicado en el Soil Science Society of America Journal 47: 1171-1178, 1983.

² Profesor Principal de Suelos, Asistente de Investigación y Profesor Asistente de Suelos, respectivamente, de la Universidad Estatal de Carolina del Norte. El Dr. Villachica es actualmente profesor principal de Suelos tropicales de la Universidad Nacional Agraria - La Molina, Lima, Perú.

La capa del subsuelo entre los 15 y 50 cm., experimentó un aumento significativo en el Ca y Mg cambiabiles y en la disminución de la saturación del Al. Esto favoreció un envanamiento mas profundo. Hubo variación en la respuesta de las tres chacras ensayadas, en relación al tiempo que tomó para que se manifestaran las deficiencias de los nutrimentos y a las cantidades de fertilizante o cal necesarias para corregirlas, a pesar de la proximidad de los mencionados campos de poseer la misma vegetación antes del desmonte, idéntica posición geomórfica y de tener la misma clasificación del suelo al nivel de familia.

INTRODUCCION

La mayor area disponible para expandir la frontera agrícola en el mundo la constituyen los 580 millones de hectáreas potencialmente arables en los trópicos húmedos con vegetación de bosques pluviales (Kellogg y Orvedal, 1969; National Academy of Sciences, 1977). Estas tierras no tienen mayores limitaciones de temperatura y humedad y muchas tienen una topografía apta para la producción de cultivos durante todo el año. En la Amazonía, la principal limitación agronómica es la baja fertilidad natural de los suelos bien drenados, predominantes en la región, los cuales son clasificados como ultisoles u Oxisoles (Cochrane y Sánchez, 1982). Las limitaciones del suelo son consideradas tan severas por algunos autores que a menudo se cree que la producción continua de cultivos alimenticios no es posible en estos suelos ácidos bien drenados (Goodland and Irwin, 1975; Irion, 1978; Sioli, 1980).

En 1971, el Programa de Investigación de Suelos Tropicales de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, en cooperación con las agencias que ahora constituyen el Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria (INIPA), iniciaron un proyecto de investigación en Yurimaguas, Peru, para determinar si la producción continua de cultivos alimenticios era posible en una area considerada representativa con las limitaciones propias de clima, suelo y aspectos socioeconómicos de la Selva Amazónica.

Los suelos predominantes de la Amazonía son muy similares a aquellos de la planicie costera del Sureste de los Estados Unidos (Sánchez y Buol, 1974; Tyler et. al., 1978). Muchos de ellos pertenecen al mismo subgrupo taxonómico a nivel de familia con excepción del régimen de temperatura. La agricultura migratoria también fue practicada en el sureste de los Estados Unidos hasta que se iniciara el uso del encalado y la fertilización, lo cual permitió el cultivo continuo de especies anuales. Nuestra hipótesis era que los principios de encalado y de fertilización desarrollados para los Ultisoles del sureste de los Estados Unidos podrían ser aplicados en la Amazonía. Estos principios incluyen el encalamiento para neutralizar el Al intercambiable (Kambrath, 1970), el uso de isotermas de absorción de fósforo (Fox y Kamprath 1970) y el estimado de los niveles críticos de la mayoría de micro y macronutrientes. El propósito de este artículo es el de describir la dinámica

de los parámetros claves de fertilidad del suelo, con y sin encalamiento y fertilización, durante los 8 primeros años después del desmonte de un bosque tropical, sometido a la producción de cultivos anuales sucesivos.

METODOLOGIA

Se condujeron experimentos en tres chacras cercanas ubicadas en la Estación Experimental de Yurimaguas localizada en la Selva baja del Perú (5° 45' S, 76° 5' 0, 182 msnm). El promedio de precipitación anual es de 2100 mm, sin estaciones secas pronunciadas, pero con sequías ocasionales. La vegetación nativa consistió de una purma (foresta secundaria) de 30 m de altura y de 17 años de edad aproximadamente, en 1972. El suelo es clasificado como un Typic Paleudult, tronco fino, silíceo, isohyperthérmico, de la serie Yurimaguas. Sus características genéticas, morfológicas, mineralógicas y geomorfológicas son descritas en detalle por Tyler et. al., (1978). Este suelo es clasificado como sleak, en términos del sistema de clasificación de suelos de acuerdo con su fertilidad (Buol et al, 1975; Sánchez, Buol y Couto, 1982), indicando una capa superficial franco arenosa sobre un subsuelo franco, baja capacidad retentiva de nutrimentos, toxicidad de aluminio y bajas reservas de potasio y minerales meteorizables. La ausencia de otros modificadores indica que no existen limitaciones debido a mal drenaje, a estaciones con fuerte sequía o a una alta fijación de fósforo.

Se seleccionaron tres chacras (I, II, III) de 1 hasta 2 has aproximadamente separados 300 m uno del otro, ubicadas en el mismo suelo, posición geomórfica con la misma vegetación nativa. Las chacras fueron desmontadas en 1972, 1973 y 1974, respectivamente, usando el método de rozo, tumba y quema. Los troncos caídos fueron aserrados y removidos, quedando los tocones en el lugar. Las fechas de desmonte, quema y primer sembrío son presentadas en el Cuadro 1. Las propiedades del suelo superficial antes del desmonte y aproximadamente 1 mes después de la quema son descritas en el Cuadro 2. Los datos de la chacra I, durante los primeros 10 meses han sido descritos por Seubert et al, (1977).

Cada chacra incluyó un factorial 4 x 7 con cuatro secuencias de cultivos en las parcelas principales y siete tratamientos de fertilidad en las sub-parcelas. Las sub-parcelas de 4 x 10 m, fueron distribuidas en un diseño bloque-completo randomizado con cuatro repeticiones.

En este artículo se presentan datos de la dinámica del suelo de dos sistema de rotación de cultivos: Arroz de Secano (Oryza sativa), Maíz (Zea mays)

soya (*Glycine max*) y Arroz de Secano, Maní (*Arachis hypogea*), soya. En cada sistema de rotación, los tres cultivos fueron sembrados uno después del otro dentro de un período de un año y sin riego. Hubo una diferencia de pocos días entre las fechas de siembra de las tres chacras (Chacras I, II y III).

Cuadro 1. Tumba, quema y fechas de la primera siembra de las tres chacras.

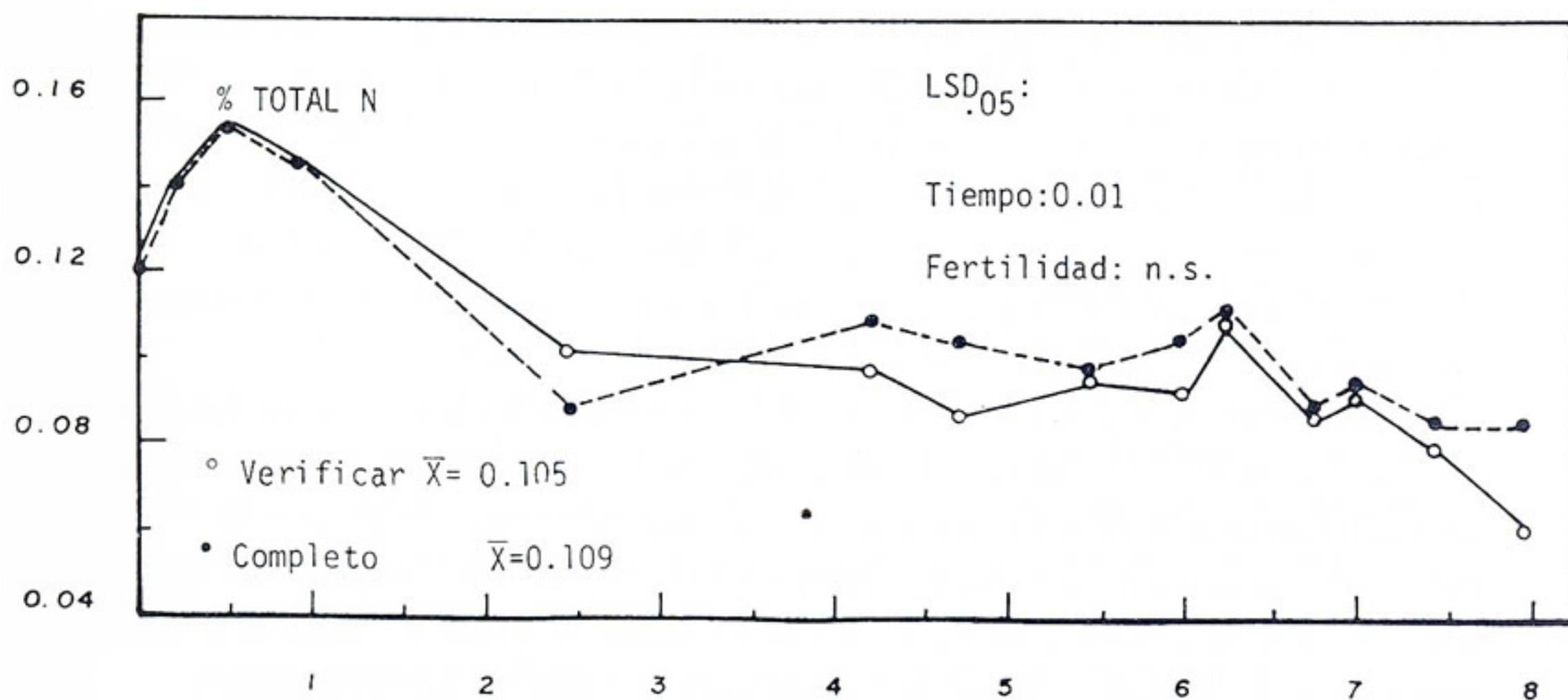
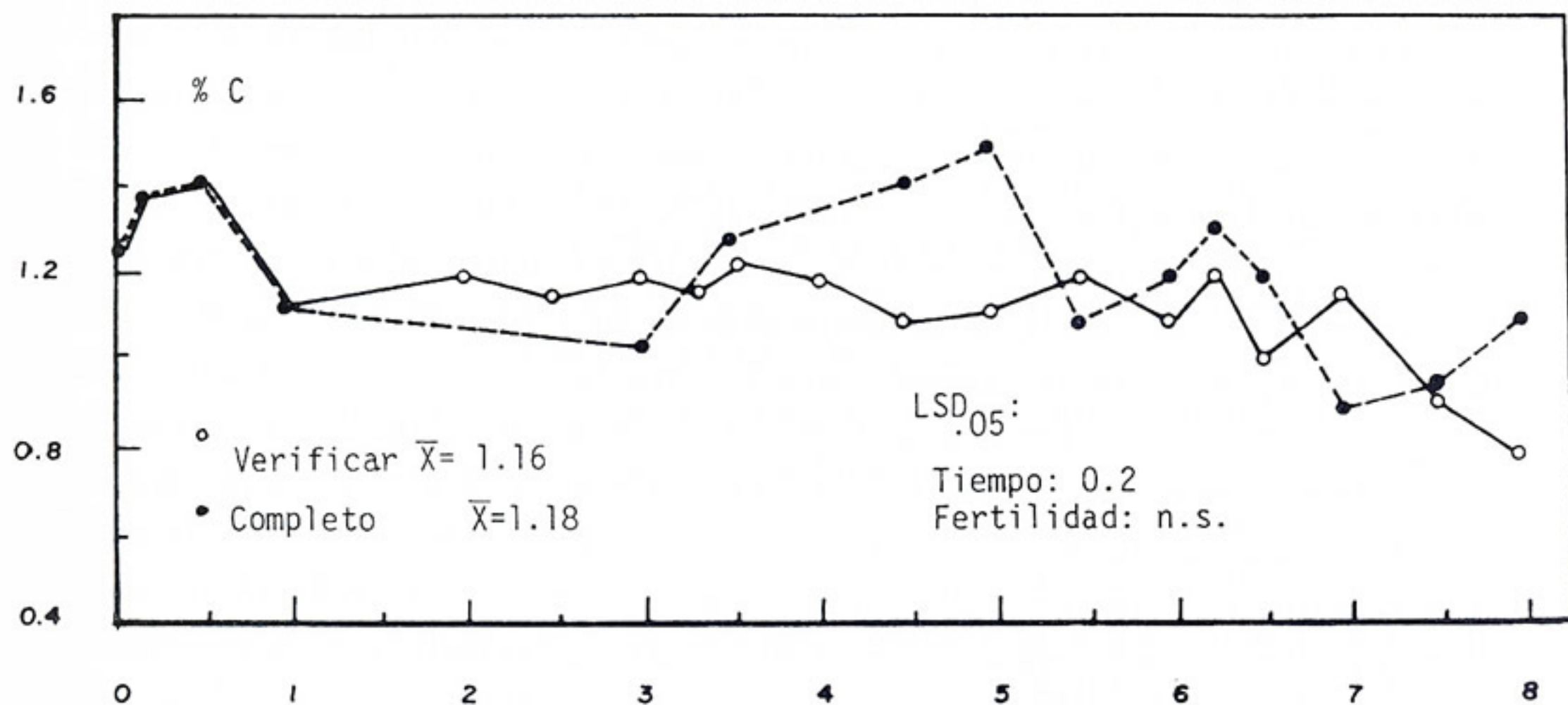
Chacra	Año	Tumbada	Quema	Días de Sequía	Primera Siembra
I	1972	8 Set.	26 Set.	20	5 Oct.
II	1973	15 Jun.	15 Ago.	63	26 Oct.
III	1979	20 Jul.	15 Ago.	50	16 Set.

Cuadro N° 2. Propiedades del suelo superficial (0 a 10 cm), de las tres chacras, antes de y un mes después de la quema.

Chacra	Tiempo	pH	Cambiabiles				ECEC	Al sat.	Olsen P	Arena	Limo	Arcilla
			Al	Ca	Mg	K						
			— cmol(+)kg ⁻¹ (meq 100 cc ⁻¹) —					%	mgkg ⁻¹	%		
I	Antes del desmonte	4.0	2.27	0.26	0.15	0.10	2.78	82	5	65.3	23.0	11.7
	Después de la quema	4.5	1.70	0.59	0.29	0.32	2.90	59	17			
II	Antes del desmonte	3.9	2.18	1.13	0.35	0.33	3.99	55	14	63.6	24.6	11.8
	Después de la quema	4.9	0.67	3.53	0.57	0.27	5.04	13	23			
III	Antes del desmonte	4.1	1.70	1.60	0.50	0.32	4.12	41	17	63.6	25.5	10.9
	Después de la quema	4.6	1.30	2.78	0.86	0.57	5.51	24	31			

En este artículo se reportan 2 de los 7 tratamientos de fertilidad: tratamiento 1 (testigo, no encalado o fertilizado) y tratamiento 3 (fertilización y encalamiento completo). El último tratamiento representa el mejor criterio para una óptima fertilización y encalamiento inicial, el cual fue modificado periódicamente en función de la experiencia y con las indicaciones del análisis de suelos. La aplicación inicial consistió de un encalamiento al nivel de 1.5 x del Al intercambiable, 100 kgP/ha como superfosfato de calcio simple, 80 kgN/ha como 80 kgK/ha como KCL, 0.5 kg B/ha como borax, y 0.1 kgMo/ha

molibdato de amonio. La cal y los fertilizantes fueron aplicados al voleo, e incorporados de 10 a 15 cm de profundidad, con un rototiler de 5Hp previo al sembrío del primer cultivo de arroz, excepto en la Chacra I, donde los problemas del transporte retardaron las aplicaciones de fertilizantes y cal antes del segundo cultivo. Las aplicaciones iniciales de cal variaron de 3.5 a 4 ton/ha de CaCO_3 equivalente.



AÑOS DESPUES DEL DESMONTE

Fig. 1.- Dinamicas en materia organica en Chacra I.

La única fuente de cal disponible con anterioridad al mes de Abril de 1976 fue el Ca(OH)_2 , que contenía 44.8% de Ca y 1.2% de Mg y tenía 117% de CaCO_3 equivalente. Desde el mes de Abril de 1976, se usó la fuente de cal calcítica con un equivalente en CaCO_3 de 84%, 32.8% de Ca y 0.54% de Mg. Ambos materiales encalantes fueron pasados a través de una malla de 2mm previamente a su incorporación al suelo.

La dosis de fertilizante y cal fueron cambiadas periódicamente de acuerdo a los análisis de suelos de las parcelas individuales y los requerimientos de fertilizantes de experimentos satélites publicados aparte (Universidad Estatal de Carolina del Norte, 1973, 1974, 1975, 1978, 1980; Villachica, 1978). De Marzo de 1973 a Diciembre de 1974, cada cultivo subsecuente en el tratamiento completo, recibió dosis de mantenimiento de 80 + 20 + 80 kg/ha de N, P y K, usando las mismas fuentes, excepto para la soya la cual recibió una dosis inicial de 30 kgN/ha. De Febrero de 1975 a Febrero de 1976, las dosis de mantenimiento fueron aumentadas a 100 + 26 + 80 kg ha⁻¹ de N, P y K, excepto para el N en la soya según lo mencionado anteriormente. En Setiembre de 1975 se aplicó 9 kg Mg/ha en forma de SO_4Mg . También en este momento se realizó un segundo encalamiento, incorporándose un nivel de cal equivalente a 1x del contenido de Al intercambiable del Avelo. Los niveles de cal fueron 1.16 ton/ha en la Chacra I, 0.72 ton/ha en la Chacra II y sin encalamiento en la Chacra III. En Abril de 1976, las tres chacras fueron encaladas al nivel de 1x del contenido de Al intercambiable, en cantidades que variaron de 0.25 a 2 ton/ha en las parcelas individuales. Las proporciones de mantenimiento para cada cultivo fueron aumentadas a (en kg/ha): 160N (excepto 30N para la soya y maíz), 70 P, 125 K, 30 Mg, 124 S, 1 Zn (como SO_4Zn), 2 Cu (como SO_4Cu), 1.8 B y 0.1 Mo. Se aplicó cal adicional a la proporción de 1 x del contenido de Al intercambiable en Enero de 1978, correspondiente a 2 ton/ha en la Chacra I.

Las dosis de N y K fueron divididas y aplicadas en bandas a lo largo de los surcos de arroz o maíz. En el arroz, la mitad de la dosis fue aplicada al macollamiento y la otra mitad al inicio del primordio de la pareja. En el maíz, las fechas del abonamiento fueron a los 15 y 45 días después del sembrío; mientras que para soya y maíz, el K fue aplicado la mitad al sembrío y la otra mitad 37 días después. Todas las demás aplicaciones de fertilizantes fueron realizadas al voleo, los cuales se incorporaron al suelo al momento de la siembra.

Las muestras de suelo fueron tomadas después de las cosechas de los cultivos, pero antes de la aplicación de los fertilizantes o de la cal del cultivo siguiente. Todos los datos fueron referidos al suelo superficial de 0 a 15 cm de profundidad con la excepción de los especificados de una manera diferente, y fueron analizados de acuerdo a los procedimientos del Programa Internacional de Mejoramiento y Evaluación de la Fertilidad del Suelo descrito por Hunter (1974). Las muestras del subsuelo fueron también colectadas y registradas (Villachica, 1978). El pH del suelo fue determinado a una proporción 1:2.5 suelo/agua. Se empleó KCl 1N para extraer el Al, Ca y Mg cambiables. El Al cambiante fue determinado por titulación con NaOH empleando fenolftaleína en el punto final, y el Ca y Mg cambiables por absorción atómica. Los elementos disponibles P, Zn, Mn, Fe y Cu y el K intercambiante fueron extractados con una solución de Olsen modificada (NaHCO_3 0.5M + EDTA 0.01M) descrita por Hunter (1974). El fósforo fue determinado colorimétricamente usando ácido ascórbico como agente reductor. Los cationes de los elementos menores, fueron determinados por absorción atómica y el K por fotometría de llama. El C orgánico fue determinado por el método de Walkley-Black y el N total por el procedimiento micro-Kjeldahl.

La capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE) fue calculada por la suma de Al, Ca, Mg y K cambiables. La saturación de Al es expresada como el porcentaje de Al/CICE. Se condujo un análisis estadístico de los datos de campo y laboratorio según el procedimiento del sistema de Análisis Estadístico (SAS) descrito por Barr et al; (1976).

Las diferencias estadísticas significativas se basan en valores DLS al nivel de 5% de probabilidad. Los valores DLS 0.05 (tiempo) sirve para comparar los puntos de los datos del mismo tratamiento de fertilidad a diferentes tiempos después del aclareo. Los valores DLS 0.05 (fertilidad) pueden ser usados para comparar los puntos de los datos entre el testigo y el tratamiento completo al mismo tiempo de muestreo. Solamente se presentan los datos de suelos para la rotación arroz de secano-maíz-soya en la Chacra I. La dinámica de los otros campos es discutida en el texto cuando es pertinente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Carbono Orgánico

Los cambios en el contenido de C orgánico del suelo superficial durante 8 años después del desmonte de la Chacra I son mostrados en la Figura 1. Se observó un ligero aumento inmediatamente después de la quema pero este no fue significativo. El contenido de C orgánico disminuyó fuertemente desde el 6° al 10° mes después del desmonte alcanzando un nivel de equilibrio de alrededor de 1.17% de C. Las Chacras II y III, las cuales tuvieron contenidos de C orgánico mayores antes del desmonte, siguieron un comportamiento similar. La proporción de descomposición del C orgánico promedió un 25% anual durante el 1er año pero luego se niveló, alcanzando un equilibrio bajo. No se detectó ninguna diferencia significativa entre los tratamientos de fertilidad en relación a la dinámica del C orgánico.

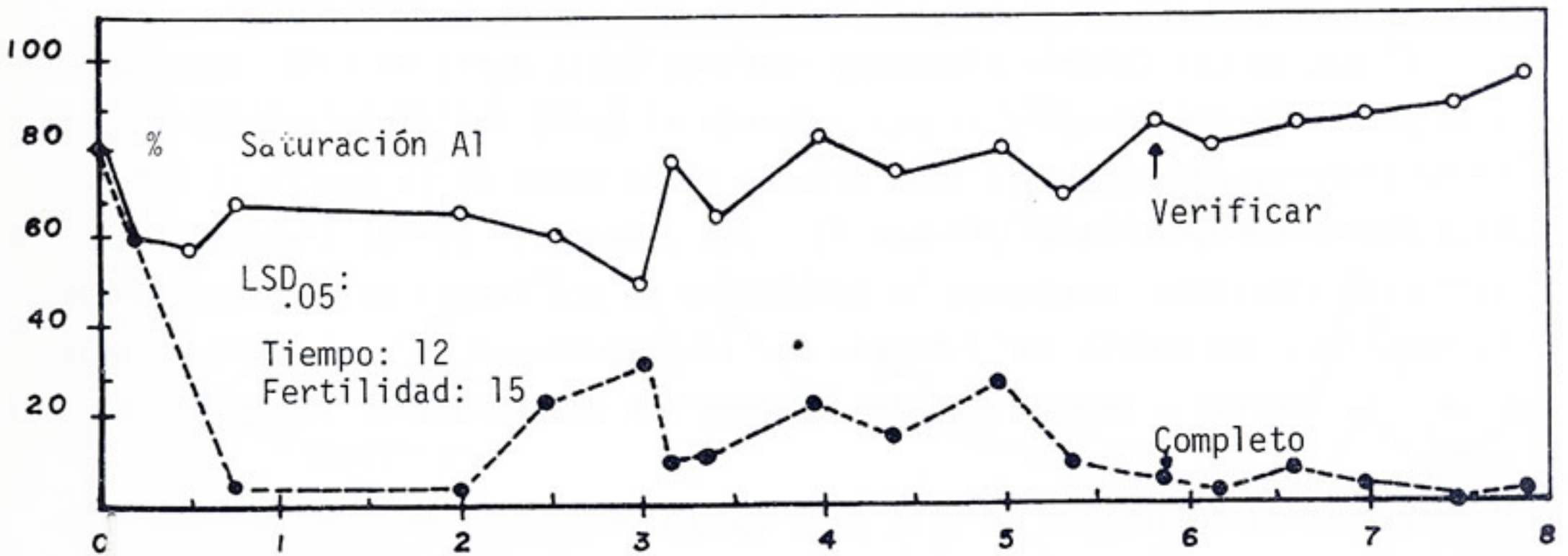
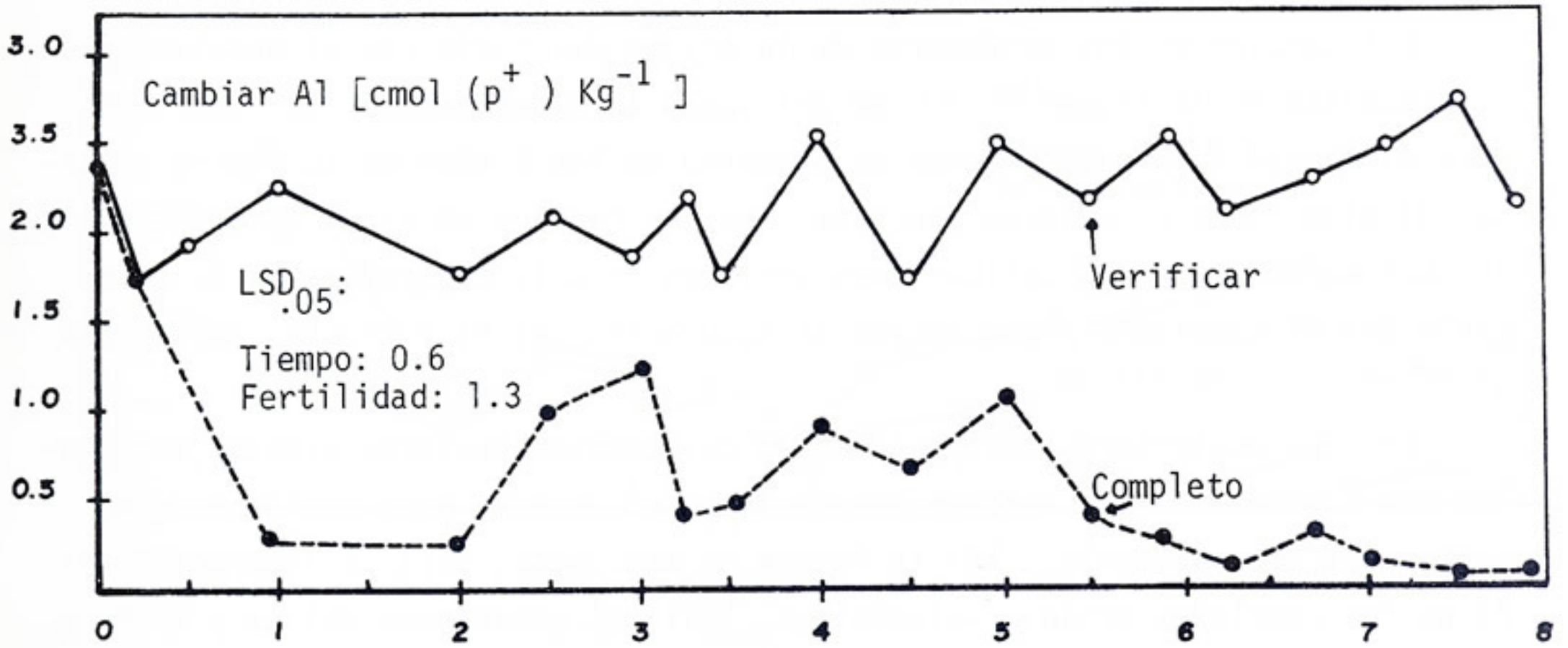
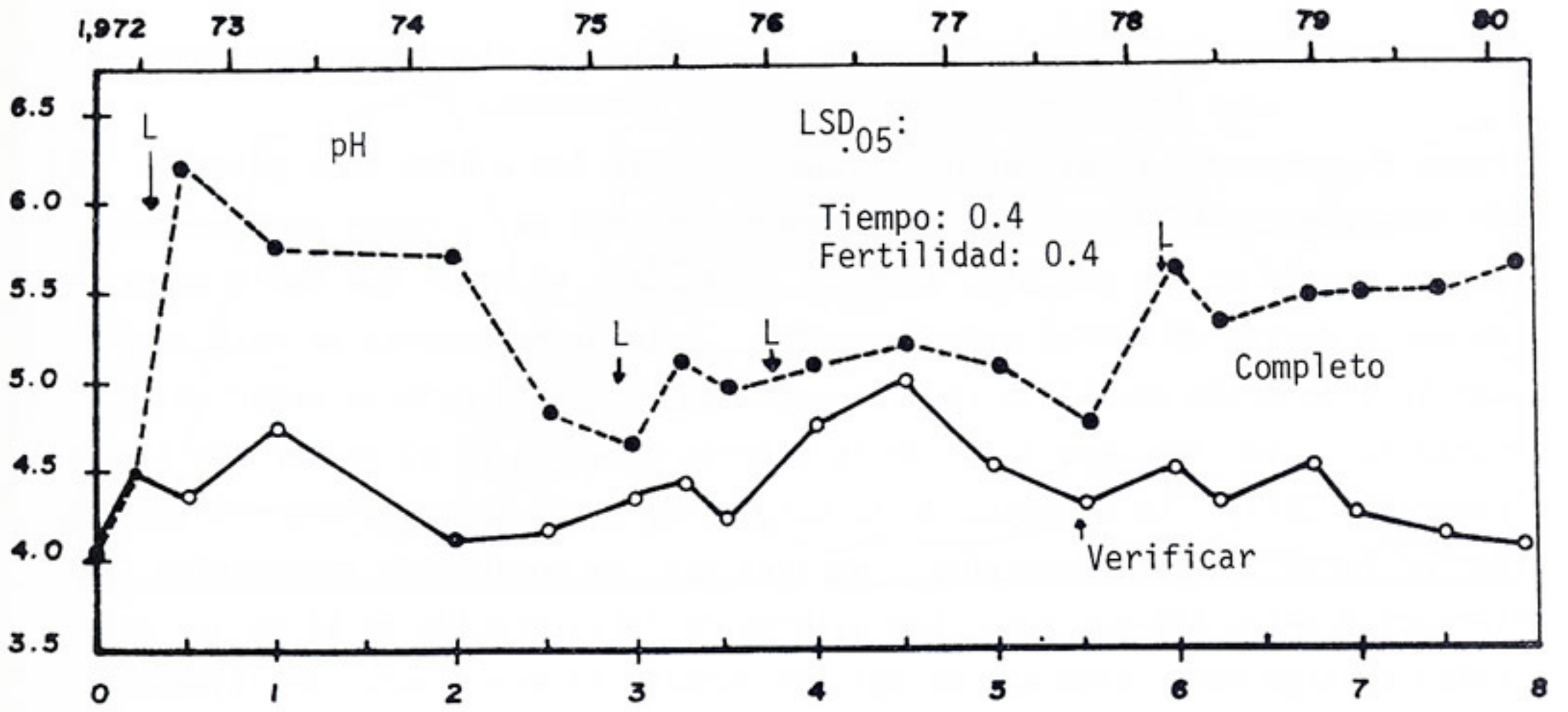
Nitrógeno

Los cambios en el contenido de N total fueron similares a los del C orgánico con la excepción de que el período de declinación se extendió del 6° al 30° mes, con una tasa de descomposición anual de alrededor de 17% para dicho período. El N total después se niveló a un promedio de 0.11% N en las 3 chacras. No hubo diferencias significativas en la dinámica del N total debido al tratamiento de fertilidad.

Los cambios en el N inorgánico ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) durante los primeros 10 meses en la Chacra I han sido previamente reportados por Seubert et al., (1977). El N inorgánico en los primeros 50 cm superficiales del suelo, se duplicó en el primer mes después del desmonte, pero disminuyó a niveles anteriores a la quema dentro de los 10 meses. Este aumento de N inorgánico totalizó 84 kg N/ha y previno deficiencias de N en el primer cultivo sembrado. La rápida disminución que siguió, causada presumiblemente por la lixiviación y la absorción por el cultivo, condujo a deficiencias de N en el segundo y en los subsecuentes cultivos de arroz y maíz.

Acidez del Suelo

La dinámica de los tres parámetros de la acidez del suelo es mostrada en la Figura 2. El pH del suelo superficial se elevó de 4.0 a 4.5 después de la



ANOS DESPUES DEL DESMONTE

2.- La dinamica en la acidez de suelo en la Chacra I. La flecha en "L" en la parte superior indica las veces de la aplicación de limo.

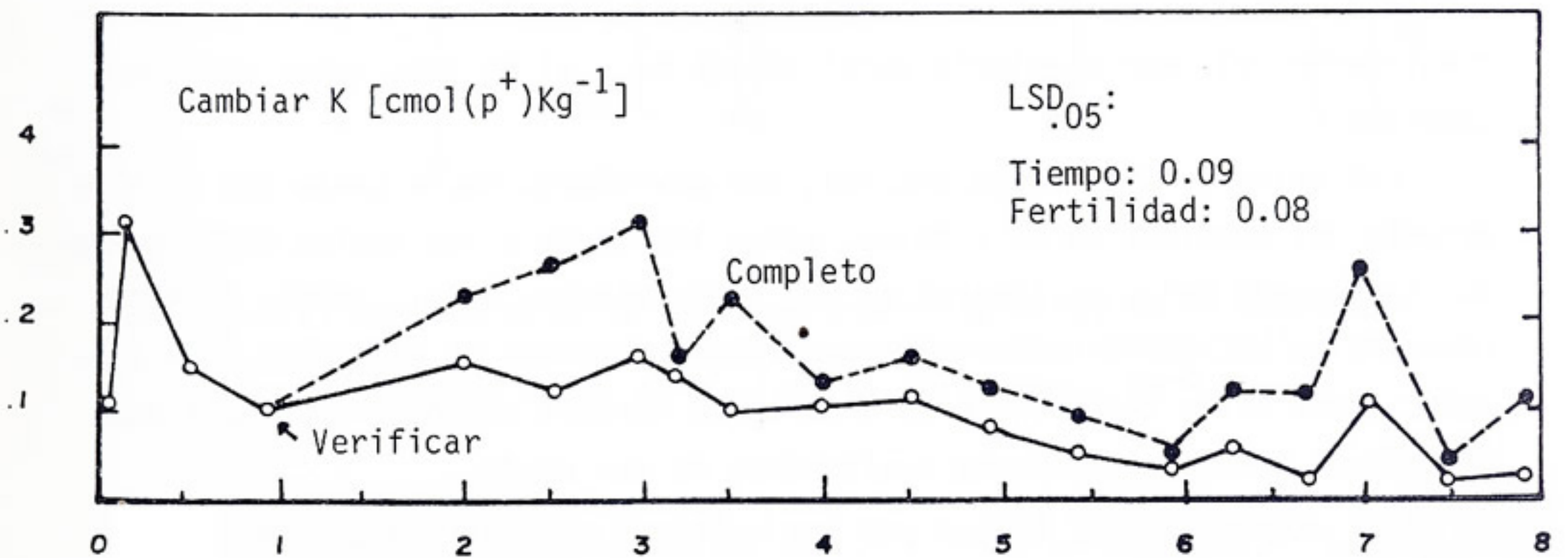
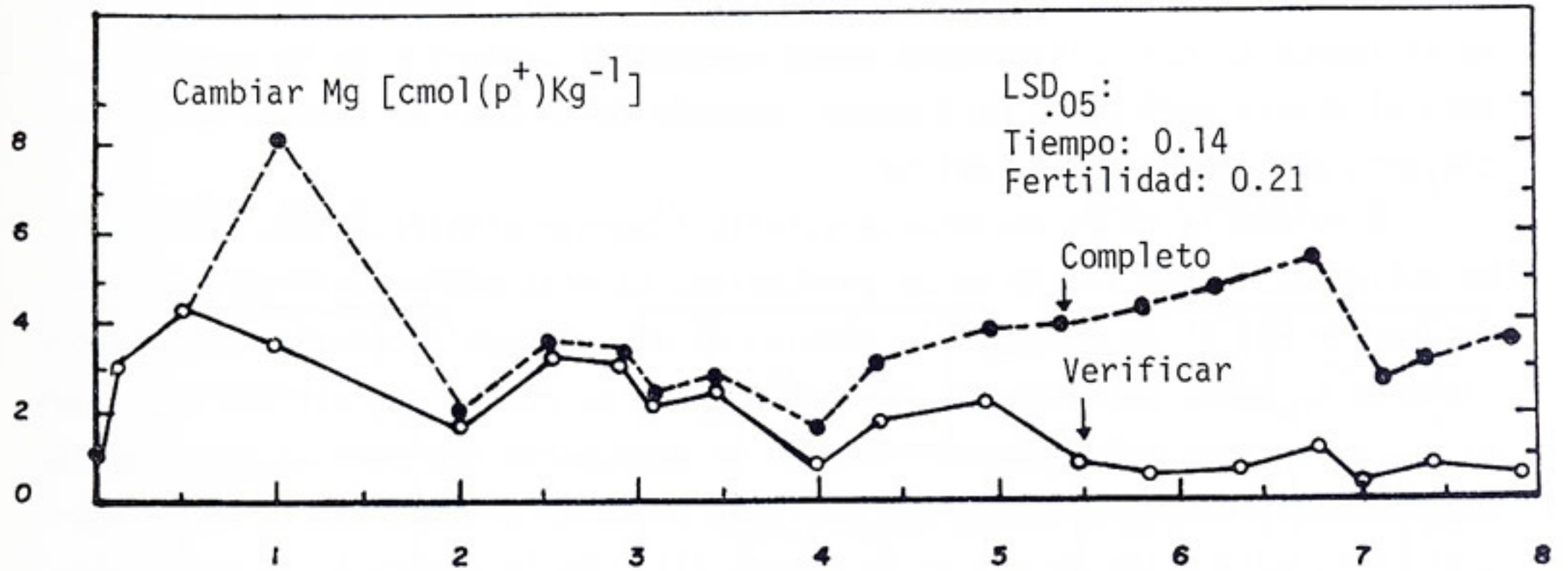
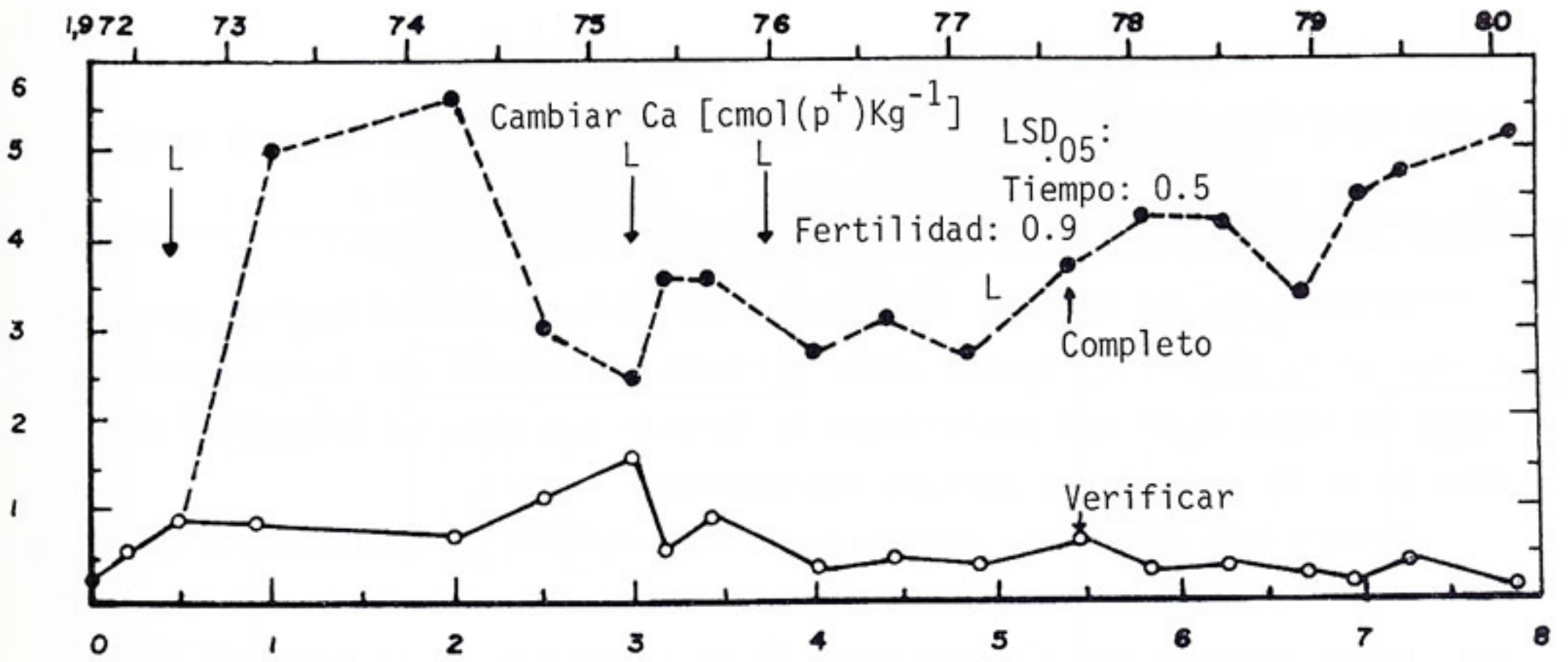
quema y permaneció relativamente estable durante los 8 años subsiguientes. El Al intercambiable disminuyó inmediatamente después de la quema pero aumentó con el tiempo en las parcelas testigo, alcanzando el nivel que tenía antes del desmonte dentro de los 10 meses después. Esto probablemente se relacionó con la liberación del Al de los complejos de Al con la materia orgánica, durante la rápida descomposición de la materia orgánica en el primer año (Juo y Kamprath, 1979). La dinámica de la saturación de Al se relaciona estrechamente con la del Al intercambiable. Una vez más, se observaron importantes diferencias entre las chacras. Los valores de la saturación de Al en las parcelas testigo estuvieron arriba del 60% durante la mayor parte del tiempo en la Chacra I.

Los cambios en los parámetros de la acidez del suelo con el encalamiento se presentan en la Figura 2. El pH del suelo se elevó después del encalado pero disminuyó a valores menores de 5 dentro de los 2 años en la Chacra I. Estas disminuciones estuvieron asociadas con los cambios en el Al intercambiable, lo cual muestra que las aplicaciones iniciales de cal, neutralizaron la mayor parte del Al cambiante y disminuyen la saturación del Al a niveles inferiores al 5%.

Las dos posteriores aplicaciones de cal también tuvieron efectos residuales muy cortos. Cuatro razones pueden ser consideradas para explicar estos cortos efectos residuales: (i) la fuente de cal usada, (ii) la liberación del Al de los complejos orgánico-alumínicos, (iii) el movimiento del Ca y el Mg y (iv) remoción de las fases por los cultivos que crecen vigorosamente.

El uso de cal Ca(OH)_2 altamente reactiva hasta Abril de 1976 contribuyó a la reducción del efecto residual. Cuando el CaCO_3 fue usado después de esta fecha (correspondiente a 3.7 años después de la quema en la Chacra I) los cambios fueron menos marcados (Figura 2). Juo y Kamprath (1979) trabajando en Ultisoles similares, mostraron la existencia de una fuente de Al potencialmente reactivo, que podría ser liberada por la descomposición de la materia orgánica. La tercera y cuarta posibles razones son discutidas en la próxima sección.

La última aplicación de cal, de 2 ton/ha efectuada en Enero de 1978, mantuvo constantes el pH, el Al cambiante, y la saturación del Al. Esto sugiere, que finalmente pudo haber sido alcanzado el equilibrio en la acidez del suelo,



AÑOS DESPUES DEL DESMONTE

3.- Dinamica de bases cambiables en la Chacra I.

a los seis años después del rozo del bosque secundario.

Calcio y Magnesio

La dinámica del Ca y Mg intercambiables en las parcelas testigo son mostrados en la Figura 3. Aunque ambos cationes aumentaron con la quema, el Ca intercambiable disminuyó paulatinamente durante los años subsecuentes; sin embargo el Mg cambiante disminuyó rápidamente.

El encalado aumentó el contenido de Ca cambiante particularmente en la Chacra I, donde los niveles iniciales de Ca fueron los más bajos. Tales aumentos fueron seguidos por disminuciones 24 meses después de la quema en la Chacra I. Las aplicaciones de cal posteriores aumentaron o estabilizaron los niveles de Ca cambiante entre 2 a 3 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$. El contenido de Mg de 1.2% de la fuente de cal inicialmente usada aumentó el contenido de Mg cambiante, pero el efecto duró menos de 6 meses, después de lo cual se observó un decrecimiento más rápido que el del Ca.

La evidencia de un movimiento estadísticamente significativo, del Ca y Mg aplicados, hasta los 50 cm de profundidad es mostrado en la Figura 4. La saturación del Al en el subsuelo también disminuyó significativamente, proporcionando un medio ambiente más favorable para las raíces de cultivos sensibles al Al, tales como maíz y soya. También se detectaron incrementos significativos en el Ca intercambiable entre los 15 y 30 cm de profundidad 13 meses después de la aplicación de cal en la Chacra III. En la Chacra I, 30 meses después de la aplicación de cal hubo un aumento significativo a los 50 cm de profundidad, con niveles de Ca cambiante más que el doble en el perfil. Consecuentemente, el desplazamiento vertical del Ca y el Mg debe haber empezado temprano.

Las evidencias de campo previas, del movimiento hacia abajo del Ca + Mg después del encalado en el trópico, están limitadas a los suelos bien agregados incluyendo Oxisoles (Amaral et al, 1965; Ritchey et al, 1980); Andepts (Morelli et al, 1971) y Ultisoles arcillosos (Pearson et al, 1962). La ocurrencia del mismo fenómeno en un Ultisol de textura arenosa, a corto tiempo después de aplicar cantidades realísticas de cal usada.

La extracción del calcio por los cultivos en continuo crecimiento, un factor adicional en el efecto residual corto de la cal. Los cultivos

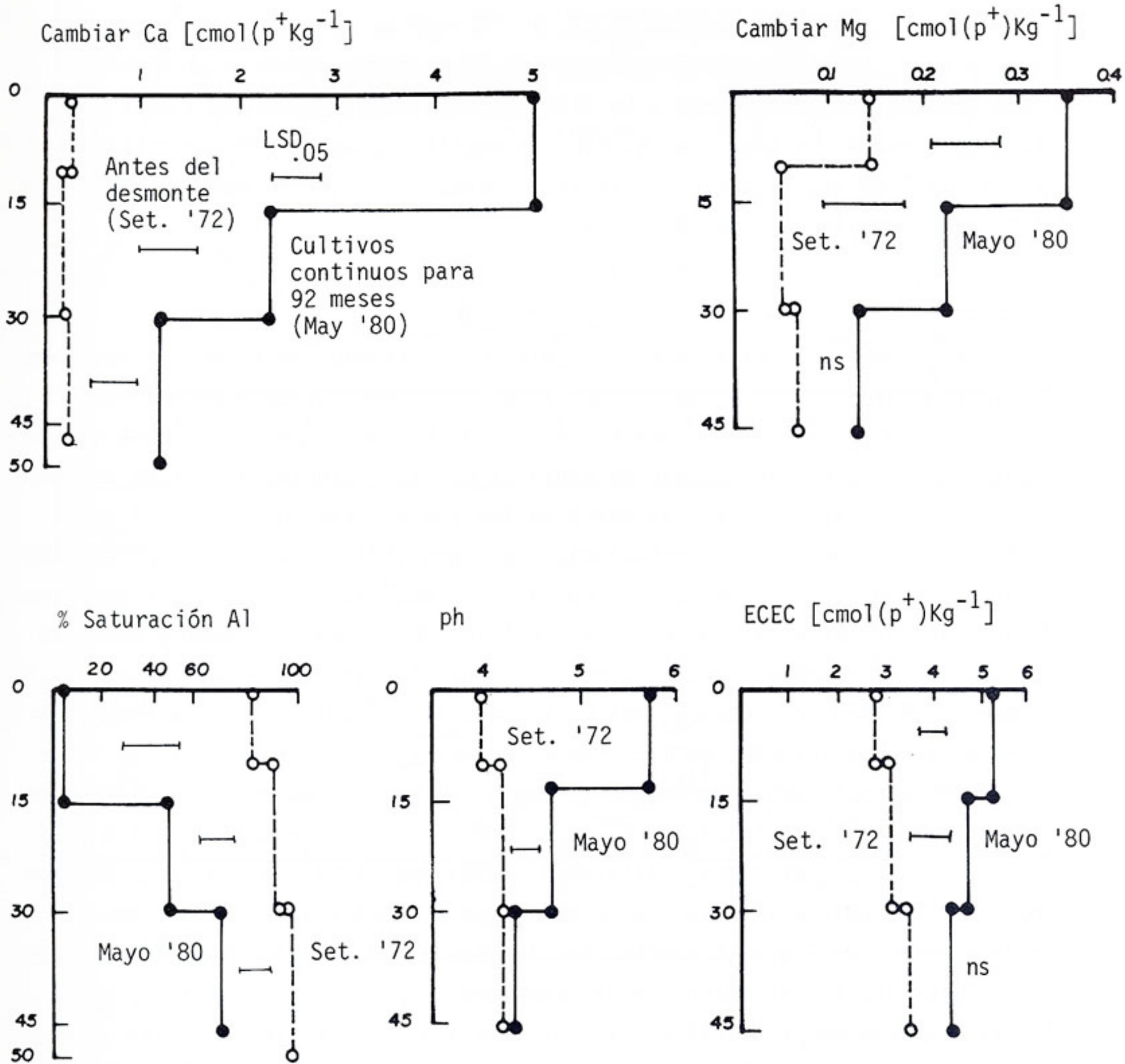


Fig. 4.- El mejoramiento de las propiedades químicas en el sub-suelo despues de 7.5 y de cultivos continuos de una rotación de arroz-maíz-soya- en Ultisol de Yurimaguas, Perú.

maíz y soya, cada uno extrajeron cerca de 50 kg Ca/ha (datos no mostrados). Esta cantidad es equivalente a la disminución de 0.75 meq Ca/100 g para los tres cultivos en un año. Los niveles de equilibrio de Ca y Mg descritos en la Figura 3 en los tratamientos testigo, pueden ser suficientemente bajos para limitar el crecimiento de la planta.

Potasio

Los cambios en el K intercambiable con el tiempo, mostrados en la Figura 3, fueron mayores y más intensos que aquellos observados con Ca y Mg. El K intercambiable aumentó rápidamente después de la quema, pero disminuyó igualmente rápido, a niveles debajo de aquellos correspondientes al bosque virgen, en menos de un año. Todas las parcelas testigo estuvieron debajo del nivel crítico de 0.2 meq K/100 g establecido por Cano (1973), dentro del primer año después del desmonte. Después de muchas cosechas, los valores del K intercambiable en las parcelas completamente fertilizadas estuvieron debajo del nivel crítico. Las grandes fluctuaciones de los niveles de K en estas parcelas, sin embargo, sugiere pérdidas rápidas de K, pero los mecanismos no han sido identificados. Los intentos para corregir la deficiencia de K mediante el incremento de la dosis aplicada, desde 80 hasta 125 kg de K/ha-cultivo, eliminaron los síntomas de deficiencia de K, pero condujeron a un desbalance entre Mg y K. Experimentos satélites (Villachica, 1978) indicaron que una proporción de Mg intercambiable/K intercambiable menor que 1.2 redujo los rendimientos de maíz y soya. La Figura 5 muestra la dinámica de la relación Mg/K con el tiempo. Inicialmente las razones Mg/K estuvieron generalmente encima del nivel crítico y permanecieron así en las parcelas testigo. En las parcelas completamente fertilizadas, las razones Mg/K cayeron debajo del valor 1.2, durante el segundo año en la Chacra I, siendo detectados síntomas de deficiencia de Mg. Mc Lean y Carbonell (1972) y Lombin y Fayemi (1975) han sugerido que valores de saturación de Mg menores del 10% de la CICE son un índice útil de la deficiencia de Mg. Los datos mostrados en las Figuras 3 y 5 indican que la saturación de Mg estuvo debajo de este nivel.

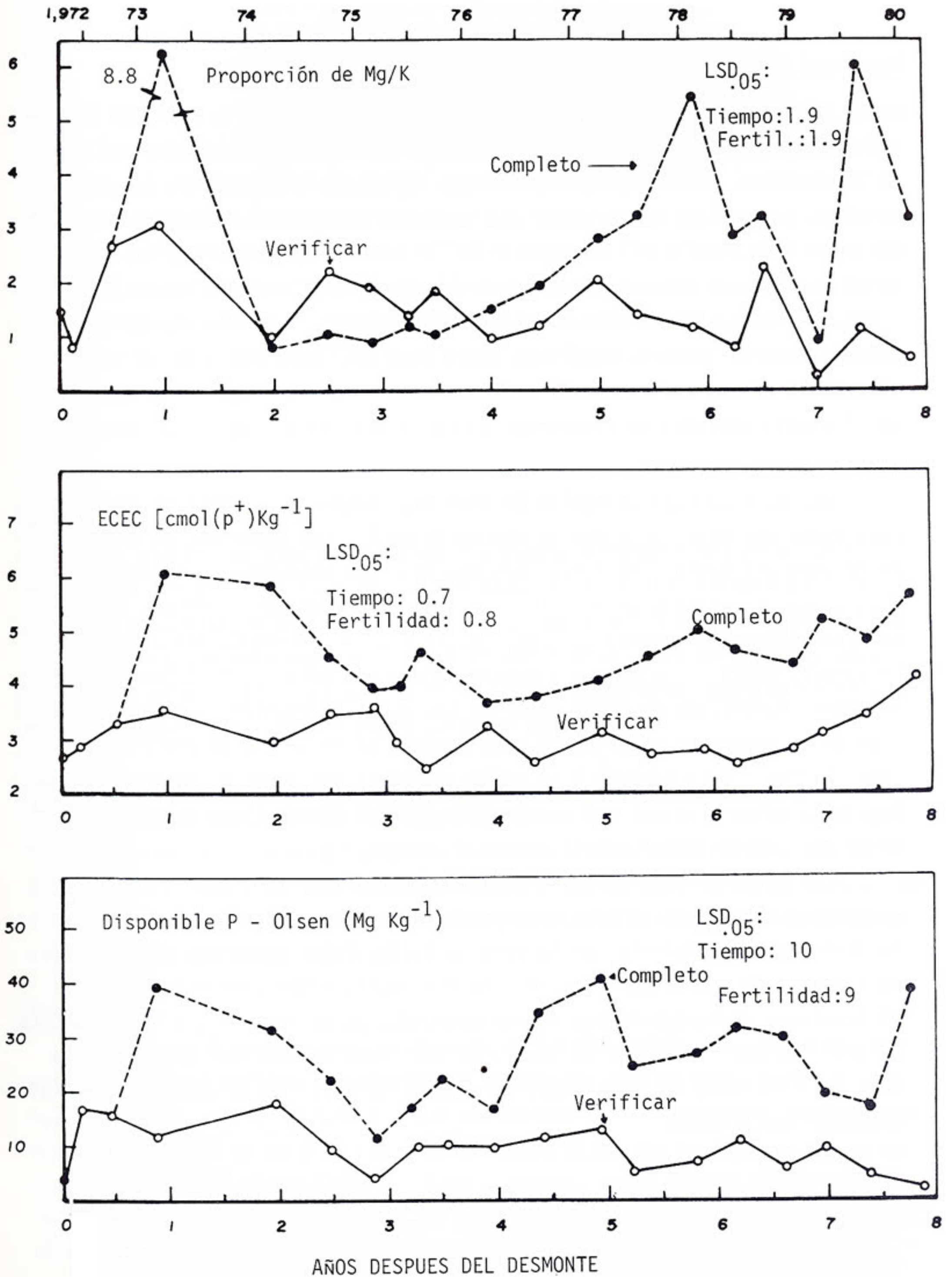


Fig 5.- Proporciones dinamicas de Mg/K, ECEC, prueba de Suelos P (procedimiento Olsen modificada) para Chacra I.

Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva

Los niveles de la CICE del suelo superficial son bajos, debido a los bajos contenidos de arcilla y materia orgánica y a la minerología kaolinitica de la arcilla. Dada la carga dependiente del pH de estos suelos, los cambios en la CICE mostrados en la Figura 5 siguen estrechamente los cambios en el pH del suelo (Figura 2). El encalado y la fertilización aumentaron la CICE en cerca del 50%, lo cual podría ser significativo en la disminución de las pérdidas por lixiviación en este tipo de medio ambiente. La CICE del subsuelo también aumentó, como un resultado del movimiento hacia abajo del Ca y el Mg (Figura 4).

Fósforo

Debido a su bajo contenido de arcilla, (Cuadro 2) el Ultisol de Yurimaguas tiene una baja capacidad de absorción de P. Las isoterms de absorción de fósforo del suelo superficial han mostrado que solamente se requiere 24ppm P para que la solución de equilibrio alcance 0.2 ppmP por el método de Fox y Kamprath (1970) de acuerdo con datos publicados por North Carolina State University (1973). La Figura 5 muestra que los niveles de P disponible por el método modificado de Olsen-EDTA, en las parcelas testigo, aumentaron después de la quema; la magnitud de este aumento varió de 9 a 14 ppm P en las tres chacras. Este aumento y su efecto residual subsecuente, mantuvieron la Chacra I, sobre el nivel crítico de P de 15 ppmP (Cano, 1973) durante los primeros diez meses después de la quema.

Las parcelas fertilizadas, sufrieron una disminución general en el P disponible después del primer abonamiento y se hizo necesario un aumento en la dosis de mantenimiento, en Febrero de 1975. Tales aumentos, sin embargo, no fueron suficientes para invertir la tendencia, y las proporciones de las aplicaciones de mantenimiento fueron aumentadas posteriormente, a 10 kg de P/ha/cultivo, en Abril de 1976, es decir, al 44vo. mes después del aclareo de la Chacra I. Después de esta fecha, se eliminó la deficiencia de fósforo en las parcelas fertilizadas.

Azufre

Debido a limitaciones analíticas, la dinámica del S del suelo no fue seguida como una función del tiempo. Los análisis de las hojas cercanas a la

mazorca del maíz a la cosecha, 6 meses después de la quema de la Chacra I, mostraron un contenido de 0.12% de S en las parcelas testigo y de 0.07% de S en las parcelas con la dosis completa. Las relaciones N/S en las muestras de plantas fueron 20 y 26 respectivamente. Los datos obtenidos indican deficiencia de S en relación a los niveles críticos sugeridos para maíz en Nigeria por Kang y Osiname (1976). Experimentos de invernadero y campo reportados (North Carolina State University, 1974, 1976, 1978) muestran respuestas a dosis de alrededor de 30 a 60 kg de S/ha pero estas cantidades son suministradas en la mezcla de fertilizante usado en este estudio. Estos suelos por lo tanto, son deficientes en S, pero esta limitación no representa un problema grande de manejo.

Zinc

Los niveles de Zinc disponibles fluctuaron alrededor del nivel crítico establecido de 1 ppm Zn sugerido por Osiname et al, (1973) (Figura 6). La falta de respuesta en el campo al Zinc en un experimento satélite (Villachica, 1978) sugiere que este elemento no estuvo deficiente. Sin embargo, el valor cercano al nivel crítico alcanzado en la Chacra I, 40 meses después de la quema sugiere que este elemento pueda volverse deficiente.

Cobre

Los datos mostrados en la Figura 6 indican que los niveles de Cu disponible estuvieron siempre cercanamente debajo del nivel crítico de 1 ppm Cu (Hunter, 1974) en la parcela testigo. Una aplicación de 3 kg Cu/ha usando como fuente al CuSO_4 corrigió esta deficiencia, aunque no se conoce la duración de este elemento del efecto residual.

Fierro

La Figura 6 muestra que los niveles de Fe disponible estuvieron muy por encima del nivel crítico establecido de 10 ppm Fe (Hunter 1974) pero sin ser muy altos para causar toxicidad. Los contenidos de Fe disponible disminuyeron con el aumento en el pH y la correlación entre estos dos parámetros fue altamente significativa ($r = 0.55^{**}$). Este elemento, por lo tanto, no es considerado limitante en este momento.

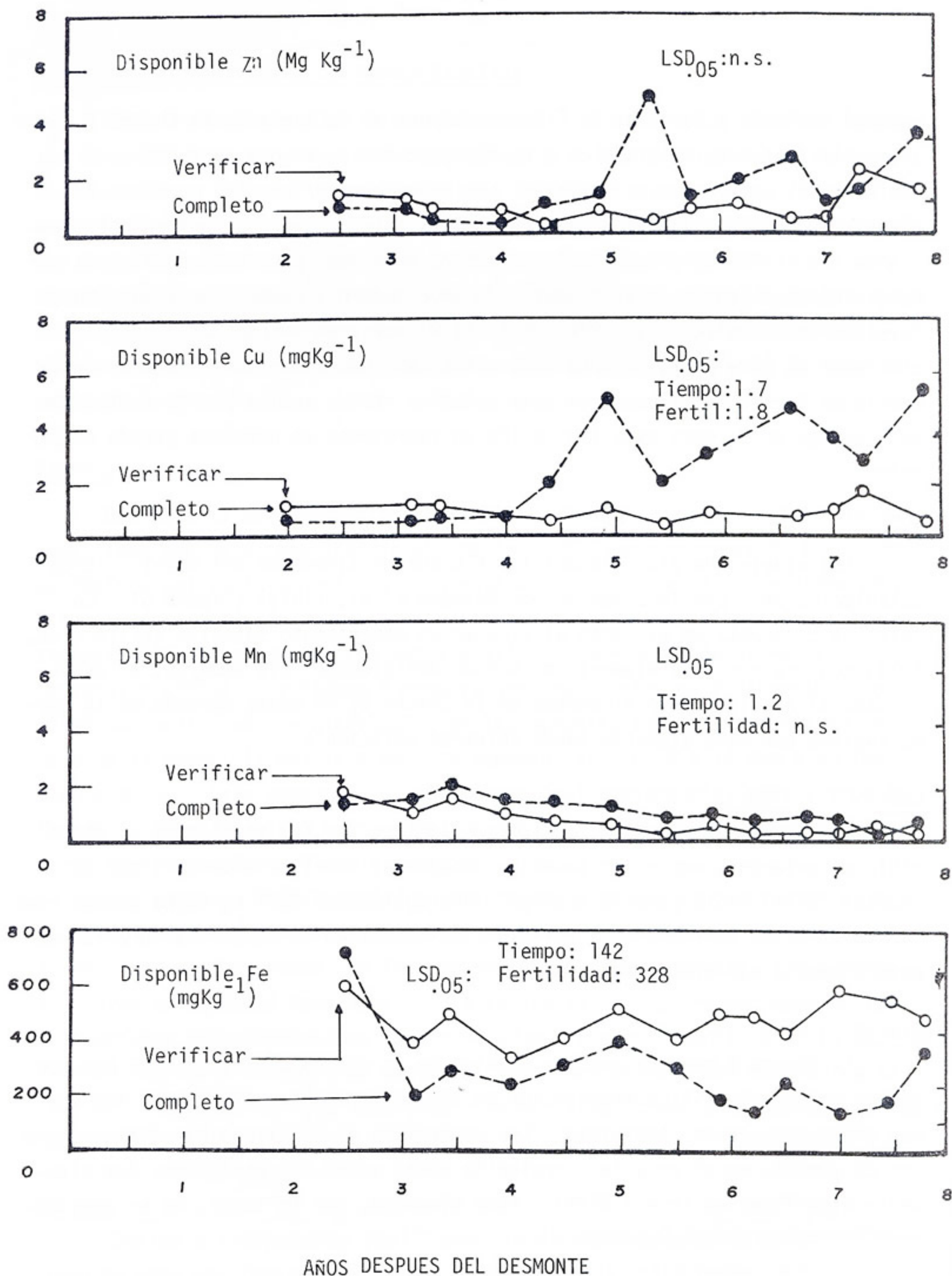


Fig. 6.- Dinamicas Micro-nutritiva para Chacra I.

Manganeso

Los niveles de manganeso disponible disminuyeron con el tiempo después del aclareo hasta el nivel crítico de 5 ppm Mn (Figura 6). El efecto del encalado en la disminución de la disponibilidad del Mn, en otros Ultisoles de la Amazonía, ha sido establecido (Villachica y Cabrejos, 1974); sin embargo, esta no parece ser la causa en este experimento, desde que los valores de pH del suelo fueron, rara vez, mayores que 6. No hubo una evidencia clara de que el Mn fuera el limitante de los rendimientos en este suelo. Sin embargo, las altas cantidades de Fe disponible y la baja capacidad de este suelo, sugieren que la deficiencia de Mn podría ser inducida de 2 maneras: Por un desbalance de la relación Fe/Mn, o por una cantidad moderadamente alta de cal. Esto ha sido estimado, en un experimento satélite de encalado, donde el encalamiento a pH 7, produjo síntomas de deficiencia severa de Mn en maíz en Yurimaguas (North Carolina State University, 1980).

Boro

Los Ultisoles de textura gruesa, de bajo contenido en materia orgánica, tienden también a ser relativamente bajos en B (Lucas y Knezek, 1972). Síntomas visuales de deficiencia de B, fueron observados en las mazorcas de maíz, durante el segundo cultivo en la Chacra I. Los contenidos de B en la hoja de mazorca, a la cosecha, variaron de 12 a 17 ppm B. Los análisis del suelo superficial de un experimento satélite adyacente, mostraron menos de 0.1 ppm B soluble en agua caliente, observándose respuestas en rendimiento a las aplicaciones de B (Villachica, 1978). La aplicación de 1 kg B/ha a cada cultivo de maíz, parece que elimina esta deficiencia en la rotación, sin causar toxicidad. Aunque el estudio de la dinámica del B no fue llevada a cabo, la aparición de síntomas claros de deficiencia, dentro de los 6 meses posteriores a la quema en la Chacra I, sugieren que la deficiencia del B se presenta casi inmediatamente después del aclareo de estos suelos.

Molibdeno

Las deficiencias de molibdeno han sido registradas esporádicamente en Yurimaguas (Villachica, 1978). La presencia o ausencia de respuesta en el rendimiento, parece estar relacionada con el contenido de Mo en la semilla.

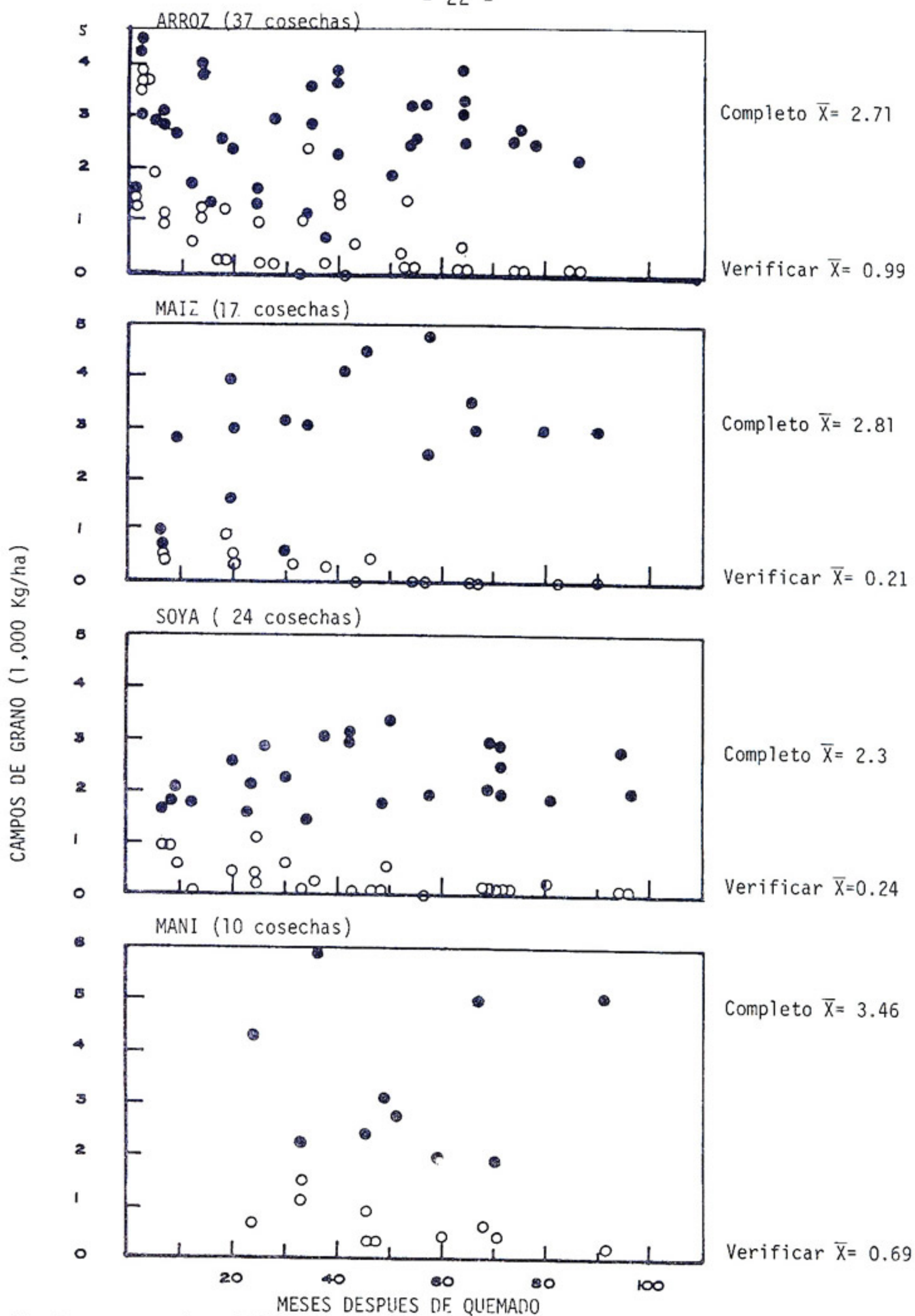


Fig.7.- Los campos de cultivo como una función de tiempo despues del desmonte con (●) y sin (○) completa la fertilización .Cada punto significa 4 reproducciones. Yurimaguas (1972 - 1980).

El contenido de Mo de la semilla es alto, cuando esta es traída de otras regiones del Perú, pero es bajo, si la semilla es producida en Yurimaguas sin fertilizarla con Mo. Es recomendable mezclar la semilla de soya con molibdato de amonio, a la proporción equivalente de 100 gr Mo/ha, para un segundo cultivo.

Variabilidad entre Chacras

Los resultados indican que estos Ultisoles evidentemente son deficientes en N, P, K, Ca, Mg, S, Cu y B, marginalmente deficientes en Zn, Mn y Mo y son solamente suficientes en su contenido de Fe. Además, son claramente tóxicos en Al. El momento de aparición de estas limitaciones, su grado de intensidad y las interacciones entre estos parámetros de fertilidad, varían en las tres chacras, aunque los suelos son clasificados como de la misma familia, serie y tipo y se encuentran en la misma posición geomórfica, localizados 300 m uno del otro, con igual vegetación antes del desmonte.

El Cuadro 3 resume la variabilidad entre chacras. Se cree que las diferencias en los materiales de la quema sean la principal causa de la variabilidad considerando las mínimas diferencias originales antes del desmonte, descritas en el Cuadro 2, y especialmente el incremento en el Ca y Mg cambiables en el suelo superficial, un mes después de la quema. Haciendo la conversión de los datos de las bases intercambiables del Cuadro 2, la Chacra III recibió mas Ca + Mg (506 kg/ha) que la Chacra II (279 kg/ha) y la Chacra I (83 kg/ha). Estas diferencias probablemente estan relacionadas con la longitud del tiempo, entre el rozo y la quema, en las Chacras II y III (Cuadro I) y tal vez a la calidad de la ceniza dependiendo de cuando ocurrió la última lluvia antes de quemar. Mientras mas completa sea la quema, mayor será la cantidad de bases añadida. El análisis del suelo, de preferencia después de la quema, puede servir como una herramienta útil en la determinación del tiempo, en que estos factores limitantes pueden aparecer.

Rendimientos de los Cultivos

Los rendimientos en grano de 37 cosechas de arroz de secano, 17 de maíz, 24 de soya y 10 de maní en cáscara obtenidos con y sin fertilización son presentados en la Figura 7 en función del tiempo después de la quema.

Es evidente la tasa de disminución de rendimiento sin la aplicación de

Cuadro 3.- Secuencia aproximada de indicadores de limitaciones de la fertilidad del suelos en las tres chacras.

Limitante	Tratamiento de Fertilización	Chacra			Criterio de identificación u observaciones.
		I	II	III	
Deficiencia de N.	Testigo Completo	6 NO†	6 NO	6 NO	Síntomas visuales; corregido por fertilización con N.
Toxicidad de Al.	Testigo Completo	1 NO	NO NO	45 NO	>60% de saturación con Al en la capa superficial corregido por encalado.
Deficiencia de Ca.	Testigo Completo	1 NO	30 NO	NO NO	<1 meq/100 cc; encalado manteniendo alto el nivel de Ca.
Deficiencia de Mg.	Testigo Completo	12 21	22 24	18 10	<0.3 meq/100cc
Deficiencia de K	Testigo Completo	4 10	10 29	14 11	<0.2 meq/100cc
Balance Mg/K	Testigo Completo	22 22	NO 18	NO 10	<1.2; posiblemente al inicio en la Chacra I. Fertilización con K, indujo la deficiencia de Mg.
Baja CICE	Testigo	1	16	7	<4 meq/100cc encalando se incrementó la CICE.
Deficiencia de P	Testigo Completo	10 NO	18 24	14 NO	<12 ppm de P disponible.
Deficiencia de S	Testigo Completo	6 NO	6 NO	6 NO	Proporción N/S>15; debido al contenido de S del fertilizante.
Deficiencia de Cu.	Testigo Completo	1 NO	1 NO	1 NO	<1 ppm de Cu disponibilidad; sospecha de deficiencia inmediata, sin datos de nivel crítico.

† NO: No observado durante el período experimental (8 años en la Chacra I, 4 años en la Chacra II y 6 años en la Chacra III).

Limitante	Tratamiento de Fertilización	Chacra			Criterio de identificación y observaciones
		I	II	III	
Deficiencia de B	Testigo Completo	6 NO	6 NO	6 NO	<0.1 ppm de B extractable en agua caliente; corregido por fertilización.
Deficiencia de Zn	Testigo Completo	40 48	37 NO	NO NO	<1 ppm de Zn disponibilidad; todos los valores muy cercanos al nivel crítico hasta el inicio de la fertilización con Zn.
Deficiencia de Mn	Testigo Completo	38 31	20 NO	60 38	<5 ppm de Mn disponible.
Deficiencia de Mo	Testigo Completo	---Esporádico--- NO	NO	NO	Depende del contenido de Mo en las semillas de las leguminosas.
Deficiencia de Fe	Testigo Completo	NO NO	NO NO	NO NO	<10 ppm de Fe disponible; deficiencia no identificada

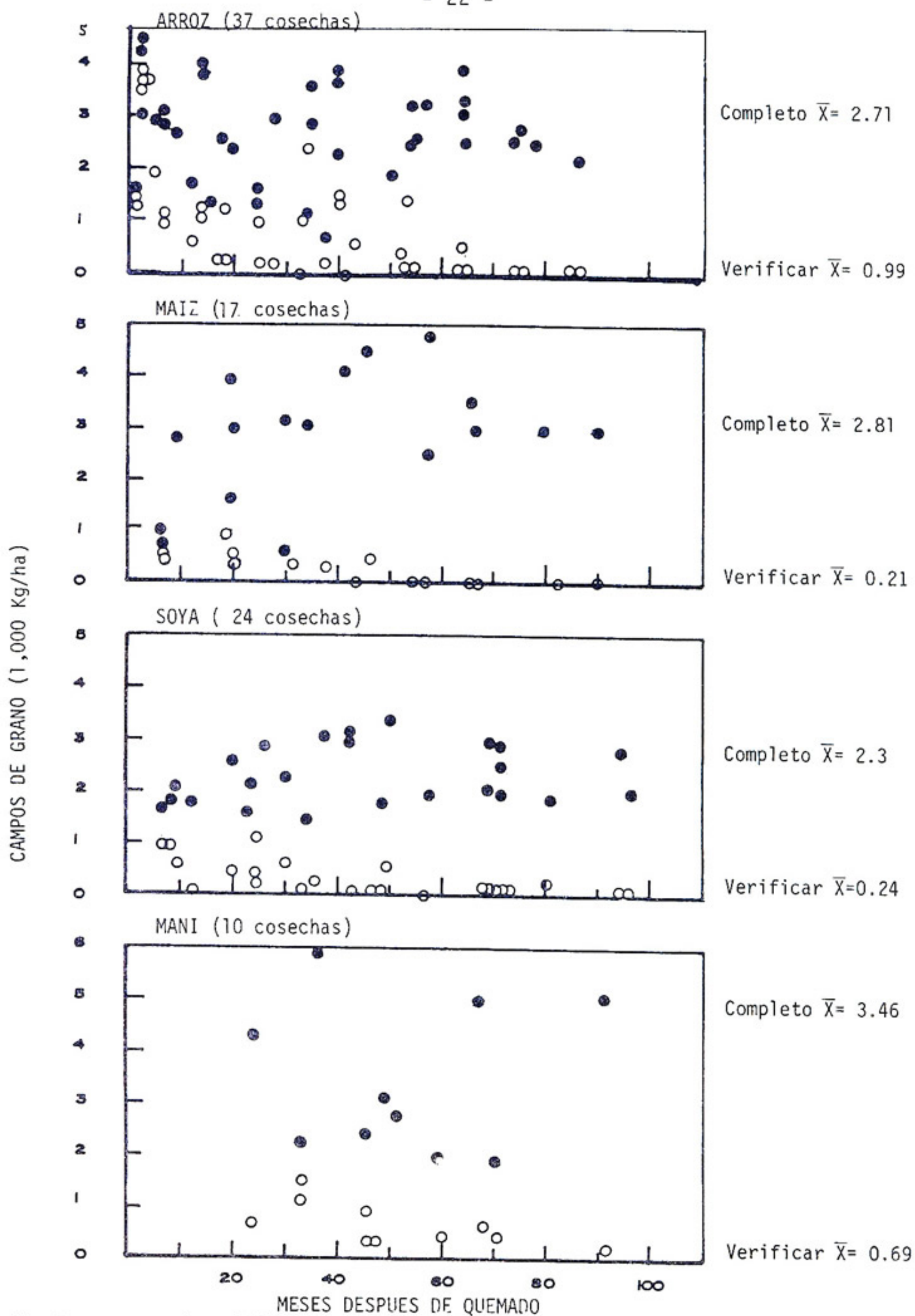


Fig.7.- Los campos de cultivo como una función de tiempo despues del desmonte con (●) y sin (○) completa la fertilización .Cada punto significa 4 reproducciones. Yurimaguas (1972 - 1980).

Cuadro 4. Balance entre las adiciones de fertilizante y la absorción de nutrientes por los cultivos durante 8 años en la Chacra I (19 cultivos).

	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu
	Kgha ⁻¹						
Adiciones de fertilizante	1480	850	1740	5235	289	11.0	15.0
Absorción por el cultivo	1916	279	1837	360	222	2.8	0.4
Balance	-436	571	-97	4875	67	8.2	14.6

embargo, indican que el cultivo contenido con alto rendimiento con una adecuada fertilización y encalado mejora las propiedades del suelo. Los cambios en las propiedades químicas del suelo superficial en un período que va desde previo al desmonte hasta 8 años después de cultivos continuos, indican un medio ambiente químico mas favorable en términos de acidez del suelo, contenido de bases, disponibilidad de muchos nutrimentos, y aún la CICE (Cuadro 5). Esto se debe, directamente, a las adiciones de fertilizantes y cal. Los únicos aspectos negativos son una disminución en el contenido de materia orgánica hasta alcanzar un nivel de equilibrio del 73% de la original y la falta de un incremento en el K intercambiable.

Tal vez tan importante, es el mejoramiento en el contenido de bases del subsuelo, conjuntamente con la disminución de la saturación de Al del subsuelo, mostrados en la Figura 4. Similares cambios en las propiedades químicas del subsuelo han sido correlacionados con un desarrollo radicular mas profundo y la amortiguación del stress debido a la sequía en Yurimaguas (Bandy, 1980) y otros lugares (Ritchey et al, 1980).

Los pocos datos sobre cambios en las propiedades físicas del suelo superficial, no muestran efectos detrimentales del cultivo continuo, desarrollado sobre un suelo, cuya vegetación nativa fue eliminada por el método de rozo, tumba y quema y cuyos cultivos recibieron una fertilización completa, para proteger la superficie del suelo con la cubierta proporcionada por el crecimiento vigoroso de los cultivos. Las medidas de la infiltración inicial de agua reportadas por Seubert et al, (1977) durante el primer año después del aclareo de la Chacra I muestran una disminución de 24 a 11cm/hora, dentro del primer mes después del aclareo. Seis años después, Cassel et al, 1980 indicó una tasa de 12cm/hora en la Chacra I. En ese momento ellos tambien registraron una densidad aparente del subsuelo de 1.55 gr/cc a 14 cm, la cual es un valor cercano al de 1.51 gr/cc, obtenido a la profundidad de 8 a 10 cm y reportado por Seubert et al (1977) a los 10 meses después del desmonte.

Cuando es emprendido un sistema de cultivos continuos sin una fertilización completa, la ausencia de una cubierta vegetal vigorosa proporcionada por los cultivos, produce una compactación del suelo superficial, y de este modo, se incrementa la probabilidad de erosión. Esto ha ocurrido en las parcelas testigo de los experimentos reportados en este artículo.

Cuadro 5. Cambios en las propiedades del suelo superficial después de 8 años de cultivo continuo y 20 cosechas de la rotación arroz de secano-maíz-soya, con fertilización completa en la Chacra I.

Propiedad del Suelo	Antes del rozo (Setiembre 1972)	94 meses después del rozo (Mayo 1980)	Nivel de significa- ción
pH (1:1 en agua)	4.0	5.7	*
Materia orgánica, %	2.13	1.55	*
Al cambiable, meq/100cc	2.27	0.06	*
Ca cambiable, meq/100cc	0.26	4.98	*
Mg cambiable, meq/100cc	0.15	0.35	*
K cambiable, meq/100cc	0.10	0.11	NS
CICE, meq/100cc	2.78	5.51	*
Saturación de Al, %	82	1	*
P disponible, ppm	5	39	*
Zn disponible, ppm	1.5†	3.5	NS
Cu disponible, ppm	0.9†	5.2	*
Fe disponible, ppm	650	398	*
Mn disponible, ppm	5.3†	1.5	*

* Significación al nivel 0.05 o menos.

† 30 meses después del desmonte.

La falta de una fertilización adecuada y de otras prácticas agronómicas que deben aplicarse en los cultivos continuos son probablemente la causa del deterioro de las propiedades físicas del suelo, lo cual producirá rendimientos extremadamente bajos. Los cultivos continuos, fertilizados adecuadamente y conducidos con prácticas agronómicas apropiadas producen exactamente resultados opuestos a los mencionados anteriormente, mejorando las propiedades químicas del suelo y manteniendo las propiedades físicas del mismo. El seguimiento de la dinámica nutricional a través del tiempo, ha sido la clave para desarrollar recomendaciones apropiadas de fertilización, para una producción continua de cultivos, sobre una base sostenida en un Ultisol representativo de las grandes áreas de los trópicos húmedos.

LITERATURA CITADA

- Amaral, A. Z., F. C. Verdade, N. C. Schmidt, A. C. P. Wutke, and E. K. Igue. 1965. Parcelamento e intervalo de aplicacao de calcário. *Bragantia* 24: 83-96.
- Bandy, D. E. 1980. Deep lime experiment. p. 127-137. In *Agronomic-economic research on soils of the tropics, 1978-1979 report*. Dep. of Soil Science, North Carolina State Univ., Raleigh.
- Barr, A. J., J. H. Goodnight, J. P. Sall, and J. T. Helwig. 1976. A user's guide to SAS 76. SAS Institute, Inc. Raleigh, N.C.
- Buol, S. W., P. A. Sánchez, R. B. Cate, Jr., and M. A. Granger. 1975. Soil fertility capability classification. p. 126-141. In E. Bornemisza and A. Alvarado (ed.) *Soil management in tropical america*. North Carolina State Univ., Raleigh.
- Cano, M. 1973. Evaluación de la fertilidad de suelos en el Perú. Dirección de Investigación Agraria Bol. Tec. 78. Ministerio de Agricultura, La Molina, Perú.
- Cassel, D. K., D. E. Bandy, and J. Alegre. 1980. Effects of clearing and continuous cultivation on soil physical properties. p. 159-165. In *Agronomic-economic research on soils of the tropics, 1978-1979 report*. Dep. of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh.
- Cochrane, T. T. and P. A. Sánchez. 1982. Land resources, soils properties and their management in the Amazon region: A state of knowledge report. p.138-209. In S. B. Hecht (ed.) *Amazon land use research*. CIAT, Cali, Colombia.
- Fox, R. L., and E. J. Kamprath. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirement of soils. *Soil Science Society of America Proc.* 34: 902-907.
- Friedman, I. 1977. The Amazon basin, another Shael? *Science* (Washington, D.C.) 197: 7.
- Goodland, R. J. A., and H. S. Irwin. 1975. *Amazon jungle: Green hell to red desert?* Elsevier, Amsterdam.
- Hunter, A. H. 1974. International soil fertility evaluation and improvement laboratory procedures. Dep. of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh.
- Irion, G. 1978. Soil infertility in the Amazonian rainforest. *Naturwissenschaften* 65:515-519.
- Juo, A. S. R. and E. J. Kamprath. 1979. Copper chloride as an extractant for estimating the potentially reactive aluminum pool in acid soils. *Soil Sci. Am. Proc.* 34: 252-254.
- Kang, B. T., and O. A. Osiname. 1976. Sulfur response to maize in Western Nigeria. *Agronomy Journal* 68: 333-336.

- Kellogg, C. E. and A. C. Orvedal. 1969. Potentially arable soils of the world and critical measures for their use. *Adv. Agron.* 21: 109-170.
- Lombin, L. G., and A. A. Fayemi. 1975. Critical level of Mg in Western Nigeria soils as estimated under greenhouse conditions. *Agron. J.* 67:272-275.
- Lucas, R. E., and B. D. Knezek. 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. p. 265-288. In J. J. Mortvedt et al. (ed.) *Micronutrients in agriculture.* Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wis.
- McLean, E. O., and M. D. Carbonell. 1972. Calcium, magnesium and potassium saturation rates in two soils and their effects upon yields and nutrient contents of German millet and alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:927-930.
- McNeil, M. 1964. Lateritic soils. *Sci. Am.* 211(5):96-102.
- Morelli, M., K. Igue, and R. Fuentes. 1971. Effect of liming on the exchange complex and on the movement of calcium and magnesium. *Turrialba* 21:317-322.
- National Academy of Sciences. 1977. *World food and nutrition study, vol. 4.* Nat. Academy of Sciences, Washington, D.C.
- North Carolina State University- 1973, 1974, 1975, 1978, 1980. *Agronomic-economic research on tropical soils. Annual Rep., Dep. of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh.*
- Osiname, O. A., B. T. Kang, E. E. Schultz, and R. B. Corey. 1973. Zinc response of maize (*Zea mays* L.) grown on sandy Inceptisols in Western Nigeria. *Agron. J.* 65: 875-877.
- Pearson, R. W., F. Abruña, and J. Vicente-Chandler. 1962. Effects of lime and nitrogen applications on the downward movement of Ca and Mg in two humid tropical soils of Puerto Rico. *Soil Sci.* 93: 77-82.
- Ritchey, K. D., M. G. Dialma, E. Lobato and O. Correa. 1980. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savanna Oxisol. *Agron. J.* 72:40-44.
- Sanchez, P. A., and S. W. Buol. 1974. Properties of some soils of the Amazon Basin of Peru. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 117-121.
- Sanchez, P. A., D. E. Bandy, J. H. Villachica, and J. J. Nicholaides III. 1982. Amazon Basin soils: Management for continuous crop production. *Science* (Washington, D.C.) 216:821-827.
- Sanchez, P. A., W. Couto, and S. W. Buol. 1982. The fertility capability soil classification system: Interpretation, applicability, and modification. *Geoderma* 27: 283-309.
- Setzer, J. 1967. Impossibilidade do uso racional do solo no Alto Xingú, Mato Grosso. *Rev. Bras. Geogr.* 21 (1): 102-109.
- Seubert, C. E., P. A. Sanchez, and C. Valverde. 1977. Effects of land clearing methods on soil properties and crop performance in an Ultisol of the Amazon Jungle of Peru. *Trop. Agric. (Trinidad)* 54:307-321.

- Sioli, H. 1980. Foreseeable consequences of actual development schemes and alternative ideas. p. 257-268. In F. Barbira-Scazzocchio (ed.) Land, people and planning in contemporary Amazonia. Cambridge Univ., Cambridge, U.K.
- Tyler, E. J., S. W. Buol, and P. A. Sanchez. 1978. Genetic association of properties of soils of an area in the upper Amazon of Peru. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 771-776.
- Valverde, C., and D. E. Bandy. 1982. Production of annual food crops in the Amazon. p. 243-280. In S. B. Hecht (ed.) Amazonia: Agriculture and land use research, CIAT, Cali, Colombia.
- Villachica, H. and O. Cabrejos. 1974. Efecto de la cal, nitrógeno y manganeso en el rendimiento y la concentración de nutrimentos en el maíz. Turrialba 24: 319-326.
- Villachica, J. H. 1978. Maintenance of soil fertility under continuous cropping in an Ultisol fo the Amazon Jungle of Peru. Ph. D. Thesis. North Carolina State University, Raleigh.

