

# INFLUENCIA DE SEIS ESPECIES DE ARBOLES NATIVOS SOBRE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN UNA PLANTACION EXPERIMENTAL EN LA LLANURA DEL ATLANTICO DE COSTA RICA

(\*) Fiorenzia Montagnini

(\*\*) Freddy Sancho

## RESUMEN

La influencia de los árboles sobre las propiedades de los suelos debería ser un factor determinante en la selección de especies para plantaciones forestales o para combinaciones con cultivos, pero la información sobre este aspecto es escasa, particularmente en lo que respecta a especies nativas. Se está llevando a cabo un proyecto para comparar la fertilidad de los suelos bajo seis especies de árboles nativos en una plantación experimental de tres años de edad, en una sección sin árboles (con pastos) y en un bosque de sucesión secundaria de aproximadamente 20 años, ubicados en la Estación Biológica La Selva, en la región de la llanura atlántica de Costa Rica. Se mide el contenido de calcio, magnesio, potasio, el pH, la acidez intercambiable, materia orgánica, el nitrógeno total, fósforo y elementos menores extraíbles (cobre, hierro, manganeso y zinc). Las especies arbóreas en estudio, todas ellas de valor económico potencial, son las siguientes: *Stryphnodendron excelsum* Harms., *Dalbergia tucurensis* Donn. Smith (ambas especies fijadoras de N.), *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mel., *Vochysia hondurensis* Sprague, *Vochysia ferruginea* Mart y *Tabebuia rosea* (Vertol.) DC.

A los 2.5 años de edad de la plantación se encontraron en ésta niveles mayores de materia orgánica y nitrógeno, que en los pastos, con valores cercanos al del bosque secundario adyacente. Se observaron tendencias similares en el contenido de Ca, Mg, saturación de bases, Cu, Mn y Fe. Entre las especies de la plantación, se encontró mayor contenido de materia orgánica y N bajo *V. ferruginea*, y se observaron tendencias a un mayor contenido de Ca, Mg, P y elementos menores bajo esta misma especie.

## SUMMARY

The influence of trees on soil characteristics should be a decisive factor. For selecting tree species apt for plantation and or combination of some with crops. Information, however, is scarce, especially about native species.

A field project is under way to compare soil fertility under six species of native trees in a three year old experimental plantation, in a grassy treeless lot and in a twenty year old secondary succession forest, both situated in the La Selva Biological Station on the Eastern coastal plain of Costa Rica.

This process includes such measurements as calcium, magnesium, potassium, P.H. contents, exchangeable acidity, organic matter, total nitrogen, phosphorus and lesser extractable elements (copper, iron, zinc)

The three species under study are all potencial economically valuable. They are: *Stryphnodendron excelsum* Harms, *Dalbergia tucurensis* Donn. Smith (both species N. fixing), *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mel, *Vochysia hondurensis* Sprague, *Vochysia ferruginea* Mart y *Tabebuia rosea* (Vertol.) D.C.

In the 2.5 year old plantation higher organic matter and nitrogen levels than in grassland were found. These levels neared those of nearby secondary wooded plantation.

Similar trends were observed in Ca, Mg. contents and in saturated bases: Cu, Mg, Fe.

Among the species planted, a higher organic matter and nitrogen contents was found in *V. ferruginea* trees as a higher Ca, Mg, P. contents and lesser elements within the same specie.

## INTRODUCCION

Ante el avance continuo de la deforestación y de prácticas de manejo de suelos poco adecuadas en regiones tropicales y subtropicales, se hace cada vez más perentorio difundir sistemas de uso de la tierra que tiendan a recuperar o mantener la capacidad productiva de los suelos a más largo plazo. Tanto en los planes de reforestación como en los de promoción de sistemas agroforestales, es necesario dar recomendaciones sobre especies arbóreas a utilizar, que sean beneficiosas

Nota: (\*) Profesor de la Escuela Forestal y de Estudios Ambientales, Universidad de Yale, USA.

(\*\*) Investigador del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

desde el punto de vista económico, es decir, que provean productos útiles a los agricultores, o tengan buen valor comercial, y que, al mismo tiempo, produzcan impactos favorables sobre los suelos.

Los efectos beneficiosos de los árboles sobre las características físicas y químicas de los suelos pueden incluir: 1) mejoramiento de la estructura del suelo; 2) protección contra la erosión; 3) aumento de la conservación de nutrientes del suelo; y 4) aumento en la disponibilidad de nutrientes (Fassbender 1984, Nair 1984). Los impactos de las especies de árboles sobre los suelos varían dependiendo de: 1) los requerimientos individuales de nutrientes y agua de las especies; 2) características del sistema radicular; 3) capacidad de fijación de N; 4) calidad y cantidad de hojarasca producida por el árbol. También pueden ocurrir efectos perjudiciales, tales como disminución del pH y del contenido y disponibilidad de nutrientes del suelo; este es un tema de controversia (Cozzo 1976, de las Salas y Fassbender 1984, Fernández 1987, Lundgren 1978, Montagnini 1988, Sánchez et al. 1985).

Los efectos de las especies arbóreas sobre los suelos son muy variables. Por ejemplo, se ha observado que los suelos bajo *Gmelina arborea*, especie ampliamente difundida en los trópicos húmedos, presentaban mayor contenido de Ca y P, y mayor p H que los suelos bajo bosque o bajo pino, en tres localidades diferentes (Sanchez et al. 1985, Chijiéke 1980, Ojienyi y Agbede 1980); en dos de los sitios, los suelos bajo *Gmelina* también tenían mayor contenido de Mg y K. Efectos semejantes sobre los cationes y el pH del suelo en regiones tropicales han sido observados en *Terminalia ivorensis* (Bolfoni et al. sin publicar), *Cordia trichotoma* y *Casalpinia equisetata* (Silva 1983). El impacto potencial de estas especies sobre el aumento del pH y del contenido de cationes y P del suelo podría ser importante en áreas del trópico donde el pH bajo, la baja disponibilidad de P y la toxicidad del aluminio tienen influencia negativa sobre el crecimiento de las plantas. En contraste, también han sido documentados los efectos de *Pinus* spp. sobre la disminución del pH y del contenido de nutrientes del suelo (Bolfoni et al., sin publicar, de Barros y Brandi 1975); asimismo, existen evidencias de los efectos perjudiciales de la palma africana (*Elaeis guineensis*) (Ollagnier et al. 1978, Kowal y Tinker 1959). Existen numerosos informes sobre el efecto beneficioso de especies de árboles fijadores de nitrógeno en regiones tropicales, con respecto a la conservación de este elemento, y sobre otros nutrientes del suelo (por ejemplo, Alpizar et al. 1986, Cadima Zeballos y Alvim 1967, Carlson y Dawson 1985, Roskowski 1982, Santana y Cabala-Rosand 1982).

La información sobre la influencia de los árboles sobre las propiedades de los suelos se concentra en unas pocas especies de amplio uso. Muy pocas veces se tienen en cuenta estos factores como determinantes en la elección de especies arbóreas para plantaciones o para combinaciones con cultivos (OTS/CATIE 1986).

En la región atlántica de Costa Rica (América Central) la Dirección General Forestal (DGF) lleva a

cabo ensayos para la prueba de especies de árboles para plantaciones a campo abierto. Entre las especies recomendadas actualmente para la región (*Gmelina arborea*, *Pinus caribaea*, *Eucalyptus deglupta* y *Cordia alliodora*), solamente una (*C. alliodora*) es nativa. En 1985 la DGF estableció un ensayo para la prueba de 13 especies nativas, en la Estación Biológica La Selva de la Organización para Estudios Tropicales (OET). Entre las 13 especies, al menos cuatro: *Stryphnodendron excelsum*, *Vochysia hondurensis*, *V. ferruginea* y *Hieronyma oblonge*, mostraron a los tres años crecimiento equivalente o superior al de las especies recomendadas para la región (Espinoza y Butterfield 1989). Esto muestra el gran potencial de muchas especies nativas para su aprovechamiento con fines económicos.

En 1986 se inició un proyecto independiente para el estudio de la influencia de seis especies de este mismo ensayo, sobre la fertilidad de los suelos y mecanismos de reciclaje de nutrientes. Entre las seis especies escogidas para este estudio, dos de ellas (*Dalbergia tucurensis* y *Stryphnodendron excelsum*) se eligieron por ser leguminosas, para examinar su efecto sobre la disponibilidad de nitrógeno, y sobre otros elementos, en comparación con especies no fijadoras. Entre las otras especies, *Vochysia hondurensis* y *V. ferruginea* han sido mencionadas como acumuladoras de aluminio (más de 10,000 ppm en el tejido foliar, P.W. Rundel, datos sin publicar). Esta característica ha sido encontrada en otras especies de la misma familia, asociándose con un mejor crecimiento en comparación con otras especies, en suelos ácidos y con problemas de toxicidad de aluminio en los trópicos (Goodland 1971). Sobre las dos restantes, *Tabebuia rosea* y *Dipteryx panamensis*, no existían datos preliminares que dieran indicios sobre su posible efecto sobre los suelos, pero fueron incluidas en el estudio por su valor económico y su amplia distribución en América tropical. En este trabajo presentamos los resultados de las mediciones de fertilidad del suelo, poniendo énfasis en el efecto de la plantación en conjunto sobre la conservación de nutrientes, en el potencial de cada especie desde el punto de vista de su efecto mejorador sobre los suelos, y en los posibles mecanismos involucrados en estos efectos.

#### Descripción del sitio experimental.

La plantación forestal de 13 especies nativas fue establecida en diciembre de 1985 en el anexo "La Guaría" (cercano a la población de este mismo nombre), perteneciente a la Estación Biológica La Selva de la OET (10° 26' lat. N, 86° 59' long. O, elevación promedio 50 m sobre el nivel del mar). El clima es típicamente tropical, con 24° C de temperatura media anual y 3,800 mm de precipitación anual, con máximas en junio-agosto, y octubre-diciembre (300-400 mm), y mínimas de enero a mayo (150-200 mm) (datos de la Estación Meteorológica de La Selva, promedios de 1957 a 1988). La vegetación natural es de bosque lluvioso tropical de bajura (Hartshorn 1983). El bosque primario en el área experimental había sido cortado en la década de

1950. El área fue pastoreada con ganado de carne hasta 1984 y luego fue abandonada. En las áreas con pastos se encuentran gramíneas: Olyra latifolia, Melinis minutiflora, helechos (Pteridium spp.), y algunos arbustos (Psidium guajava, Piper culebratum). En partes que no fueron pastoreadas se desarrolló un bosque secundario, actualmente de aproximadamente 20 años. En este bosque las especies dominantes son Pentaclethra macroloba, especie leguminosa mimosoidea, fijadora de nitrógeno, dominante en el monte primario de La Selva; también se encuentran abundantes piperáceas (Piper culebratum y otras) y melastomatáceas, con helechos (Pteridium spp.) y plántulas de las especies arbóreas en el sotobosque.

La plantación experimental se estableció sobre terreno plano, aproximadamente 60 m sobre el nivel del mar. El sitio fue limpiado con machete y se cortaron algunos arbustos pequeños de guayaba. Las ramas pequeñas se dejaron en el sitio, mientras que las más grandes se apartaron. Se quemó parcialmente los restos de ramas que se habían dejado y se plantó con plántulas de bolsa. Durante el primer año se desmalezó a mano cuatro veces, a partir del segundo año, se desmalezó con una cultivadora mecánica, también con una frecuencia aproximada de cuatro veces por año. A mediados de 1987, antes de comenzar el presente trabajo, se cortaron los arbustos pequeños de una franja adyacente a la plantación, para tener un terreno libre de árboles para comparación. En esta área de pastos sin árboles, se desmalezó cada vez que se desmalezaba la plantación, para mantener al área sin árboles, y con un tratamiento similar a la plantación en lo referente a las limpiezas. A partir de mediados de 1988 no fue necesario desmalezar las parcelas donde ya se había cerrado el dosel (las dos especies de Vochysia y Hieronyma oblonga).

Los suelos han sido clasificados como Fluventic Dystropepts, originados sobre aluviones volcánicos (Sancho y Mata 1987). Son suelos profundos, bien drenados, sin pedregosidad o rocosidad, de colores pardo oscuro en la superficie a pardo amarillento oscuro en el subsuelo. Los contenidos de materia orgánica son de medios a bajos, con textura moderadamente pesada a pesada; en general la unidad se puede considerar de suelos ácidos y poco fértiles. En la Tabla 1 se resumen las características químicas de un perfil típico de este tipo de suelos (Sancho y Mata 1987).

## Métodos

### a— Delimitación del área experimental

Las 13 especies se encontraban dispuestas en bloques completos al azar, con cinco repeticiones, en parcelas de 14 m x 14 m, con 49 árboles cada una, a 2 m de distancia entre árboles. Para el presente trabajo se utilizaron las cinco repeticiones de las seis especies mencionadas anteriormente. En el área adyacente con pastos, sin árboles, se delimitaron cinco parcelas de 14 m x 14 m, ubicadas a lo largo de una franja bordeando el

lado este de la plantación. En el bosque secundario, que bordea el lado sur, se delimitaron también cinco parcelas de 14 m x 14 m; El área experimental incluyeron la plantación, los pastos y el bosque secundario, era de 19,159 m<sup>2</sup>, con caminos de 7 m de ancho entre la plantación y las áreas de pastos y de bosque.

### b— Elección de las especies arbóreas.

Los criterios para la elección de especies para este estudio fueron: 1) crecimiento: se eligieron las que presentaban mejor crecimiento a comienzos de 1988, cuando la plantación tenía dos años; 2) valor económico: todas las especies del ensayo tienen madera valiosa, comercializable; 3) capacidad fijadora de nitrógeno: se examinaron las raíces de todos los árboles en una diagonal en las cinco repeticiones de cada especie leguminosa del ensayo, en junio de 1987 y en marzo de 1988. Se encontraron nódulos en las raíces de todos los árboles examinados de S. excelsum y de D. tucurensis; no se encontraron nódulos en D. panamensis ni tampoco esta especie ha sido incluida en listas de especies tropicales fijadoras de N (Halliday 1984); 4) otros posibles efectos sobre los suelos: posible efecto mejorador del suelo bajo las especies acumuladoras de aluminio (V. ferruginea y V. hondurensis)

Aunque no existen experiencias silviculturales con ninguna de estas especies, se han realizado descripciones botánicas y estudios de su biología o fenología; por ejemplo, los estudios forestales de Holdridge et al. 1971; Bethel, 1976, Hartshorn, 1972, 1978; Lieberman et al., 1985; de biología y fenología de Bawa et al., 1985; efectos de los suelos sobre el crecimiento de especies arbóreas, de Huston 1980, 1982; y efectos del régimen de luz y microclima sobre el crecimiento (Budowski, 1961; Denslow 1980; Fetcher et al., 1983; Chazdon y Fetcher, 1984).

Stryphnodendron excelsum ("vainillo"; leguminosa, mimosoidea) y Dalbergia tucurensis ("granadillo"; leguminosa, papilionoidea) tienen madera de valor comercial (Holdridge y Poveda 1975); ambas especies dan sombra moderada, lo cual podría ser una característica adecuada para su asociación con cultivos en sistemas agroforestales, o en plantaciones mixtas. Diglycyx panamensis ("almendro"; leguminosa, papilionoidea) se encuentra ampliamente distribuida en América tropical, y su madera dura es muy apreciada (Holdridge y Poveda 1975) Vochysia ferruginea ("botarrama"; vochysiácea) y Vochysia hondurensis ("mayo"; vochysiácea) son ambas muy apreciadas por su madera; ambas proveen sombra bastante densa; V. ferruginea es una especie pionera en la sucesión secundaria (Barnes y Finegan 1988), se autó-poda y produce abundante ramificación baja y hojarasca. Tabebuia rosea ("roble sabana"; bignoniácea) es muy apreciada por su madera y como ornamental, y también se encuentra ampliamente distribuida en América tropical (Holdridge y Poveda 1975).

## c- Estudio de las características químicas de los suelos.

Los suelos se muestrearon bajo las seis especies de la plantación, las parcelas de pastos y el bosque secundario, en abril (época menos húmeda, promedio de alrededor de 200 mm en el mes) y en agosto (época más lluviosa, promedio de alrededor de 400 mm) de 1988 (datos pluviométricos de la Estación La Selva). Se utilizaron barrenos de tipo holandes, de 8 cm de diámetro. Se mostró a 0-15, 15-30 y 30-60 cm de profundidad.

Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica, siguiendo los métodos corrientes para determinación de fertilidad de suelos empleados en el país. Se midieron los siguientes parámetros: Ca, Mg, K, capacidad de intercambio catiónico, pH en agua, acidez extraíble, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo extraíble y elementos menores (Cu, Fe, Mn, Zn).

El pH se determinó en una relación suelo : agua de 1:2.5, utilizando un potenciómetro Corning 7. Para las muestras de abril, el Ca, Mg, K y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinaron por medio de extracción con una solución 1 N de acetato de amonio a pH 7. Además, en abril el Ca y el Mg se extrajeron también con una solución de KCl 1N. En este caso, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) se calculó como la suma de bases más la acidez extraíble con la solución de KCl 1N. Para las muestras de agosto, el Ca y el Mg se extrajeron con KCl solamente.

El P, K y elementos menores se extrajeron con solución de Olsen modificada, la cual consiste en una mezcla de NaHCO<sub>3</sub> 0.5 N, EDTA di-sódico 0.01 N y Superfloc 127 (Díaz Romeu y Hunter 1978). Los cationes se midieron utilizando un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer 2380. El P se midió colorimétricamente, luego de reacción con (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> MoO<sub>4</sub> ácido y SnCl<sub>2</sub> como reductor, utilizando un Espectrofotómetro Perkin Elmer-Coleman 295.

La materia orgánica se midió utilizando la técnica de Walkley-Black (Allison 1975). El nitrógeno total se midió por un método semi-micro Kjeldahl (Bremer y Mulvaney 1982).

## Resultados

Los resultados de las mediciones de la composición química de los suelos realizados en abril se presentan en las Tablas 2 a 4 y Figs. 1 a 5. Los valores de Ca y Mg obtenidos mediante extracción con acetato de amonio fueron mayores a los obtenidos en la extracción con KCl (Tablas 2 y 3). Esta diferencia era más acentuada para el Ca que para el Mg: por ejemplo, en el horizonte superficial (0-15 cm de profundidad), para *S. excelsum* el Ca era casi 1.5 veces mayor en acetato de amonio que en KCl, mientras que para esta misma especie, el Mg extraído con acetato de amonio era 1.2 veces mayor que el extraído con KCl (Tablas 2 y 3). Además, bajo esta misma especie para el Ca esta diferencia se acentuaba con la profundidad: el Ca a 15-30 y 30-60 cm era el doble en acetato de amonio que en KCl,

mientras que para el Mg la diferencia se mantenía en niveles semejantes para las tres profundidades. Tendencias similares a aquéllas ejemplificadas con *S. excelsum* se manifestaban para los otros sitios.

El análisis de la varianza no reveló diferencias significativas entre los sitios para Ca, tanto para los resultados de la extracción en acetato de amonio como para los de KCl. Sin embargo, en las extracciones con acetato de amonio, a 0-15 cm de profundidad se notó una tendencia a una mayor concentración de Ca en el suelo bajo *V. ferruginea* (1.02 cmol/l, en bosque secundario (0.96 cmol/l) y en *D. panamensis* (0.93 cmol/l), en comparación con otras especies como por ejemplo *S. excelsum* (0.67 cmol/l), o bajo el pasto (0.47 cmol/l). La misma tendencia se observó en las extracciones en KCl para este mismo horizonte superficial del suelo; bajo *V. ferruginea* la concentración de Ca era 0.73 cmol/l, bajo bosque 0.68 y bajo *D. panamensis* 0.52, mientras que bajo *S. excelsum* era 0.45 cmol/l y bajo pasto 0.32 cmol/l. Estas tendencias a diferencias entre sitios eran menos marcadas con la profundidad (Tablas 2 y 3).

Con respecto al Mg., en las extracciones con acetato de amonio existían diferencias significativas entre los sitios, para las tres profundidades en el horizonte superficial, la concentración de Mg era mayor bajo todas las especies del ensayo (entre 0.48 y 0.84 cmol/l) y bajo el bosque (0.72 cmol/l), que bajo el pasto (0.32 cmol/l) (probabilidad menor del 5 o/o). En el subsuelo, la concentración de Mg era mayor en el bosque que en el pasto y que en las seis especies del ensayo (probabilidad menor del 10 o/o) (Tabla 3). En las extracciones con KCl, las diferencias eran menos pronunciadas, pero se observó una mayor concentración de Mg en el horizonte superficial en el bosque, que en las especies del ensayo, y en éstas a su vez se observó una mayor concentración de Mg que bajo pasto, para una probabilidad menor del 10 o/o en ambos casos. No había diferencias significativas entre sitios en la concentración de Mg en el subsuelo (Tabla 2).

Con respecto al K, no se observaron diferencias significativas entre sitios, aunque se observó una tendencia de mayor contenido de K bajo *D. panamensis*, *S. excelsum*, *D. tucurensis* y *V. ferruginea* (Tabla 2). Los tres cationes considerados disminuían con la profundidad (Tabla 2).

El pH en el horizonte superficial era mayor bajo *T. rosea* y *D. panamensis* (pH 5.5, probabilidad menor de 5 o/o), que bajo bosque y pasto (pH 5.3), con valores intermedios bajo las otras especies (Tabla 2 y Fig. 1) A 15-30 cm el pH era menor bajo bosque que bajo las especies o bajo pasto (pH 5.4); no había diferencias significativas entre los sitios a mayor profundidad. Se observó una tendencia a un aumento de pH con la profundidad, aunque este aumento era de 0.1-0.2 unidades solamente, es decir de igual magnitud que las diferencias de pH entre los sitios (Tabla 2 y Fig. 1).

La acidez extraíble fue menor en el horizonte superficial bajo *T. rosea* (1.28 cmol/l) y *D. panamensis* (1.18) que bajo *V. hondurensis* (1.86) (probabilidad

menor que 5 o/o); con valores intermedios en los otros sitios (Tabla 2 y Fig. 2) No hubo diferencias significativas entre sitios a mayores profundidades; la acidez extraíble disminuyó con la profundidad, excepto en S. excelsum, D. tucurensis y bosque secundario (Fig. 2).

No se observaron diferencias significativas entre los sitios en la suma de bases extraídas con KCl, a ninguna profundidad (Tabla 2), aunque se observó una tendencia de menor cantidad de bases bajo V. hondurensis (0.73 cmol/l) y bajo pasto (0.77) en el horizonte superficial, en comparación con los otros sitios (Tabla 2 y Fig. 3), con valores entre 1.06 y 1.64 cmol/l.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) medida en acetato de amonio fue mayor (entre 7 y 10 veces) en todos los casos, que la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) (Tablas 2 y 3). No hubo diferencias significativas en los valores de CIC o de CICE, para ninguna de las tres profundidades consideradas (Tablas 2 y 3). La saturación de bases en el horizonte superficial fue menor bajo V. hondurensis (28.2 o/o probabilidad menor que 5 o/o) que en los otros sitios; bajo pasto, también fue menor (34.8 o/o, probabilidad menor de 10 o/o) (valores calculados según extracción con KCl); la saturación de bases tendió a disminuir con la profundidad (Tabla 2 y Fig. 4) La saturación de acidez fue mayor bajo V. hondurensis (71.8 o/o probabilidad menor de 5 o/o) y bajo pasto (65.2 o/o, probabilidad menor de 5 o/o), en los 0-15 y en los 15-30 cm de profundidad, con valores intermedios en los otros sitios (Tabla 2). No hubo diferencias significativas entre sitios a 30-60 cm de profundidad. La saturación de acidez tendió a aumentar con la profundidad.

La materia orgánica en el horizonte superficial fue mayor en el bosque (7.58 o/o, probabilidad menor del 1 o/o) que en los otros sitios (Tabla 4). A su vez, la materia orgánica en el horizonte superficial fue mayor bajo las seis especies del ensayo (5.31 a 6.60 o/o) que bajo pasto (4.83 o/o) (probabilidad menor de 5 o/o) Aunque no hubo diferencias significativas entre las seis especies, se notó una tendencia a mayor contenido de materia orgánica en el suelo superficial bajo V. ferruginea (6.60 o/o). A 15-30 cm, la materia orgánica fue mayor en el bosque que en los otros sitios (probabilidad menor de 10 o/o) No hubo diferencias significativas entre sitios a 30-60 cm. La materia orgánica disminuyó con la profundidad.

El nitrógeno total a 0-15 cm fue mayor bajo bosque (0.328 o/o) que bajo pasto (0.224 o/o), con valores intermedios en las especies del ensayo (0.260 a 0.318 o/o) (probabilidades menores de 5 o/o) (Tabla 4) El mayor valor de nitrógeno total (0.318 o/o) se encontró bajo V. ferruginea, aunque la diferencia no fue significativa (probabilidad menor del 10 o/o). A 15-30 cm, el nitrógeno total fue mayor en el bosque (probabilidad menor del 5 o/o), no habiendo diferencias significativas entre los otros sitios. A 30-60 cm el nitrógeno total fue mayor en el bosque que en el pasto (probabilidad menor de 5 o/o), sin diferencias entre los otros sitios. El nitrógeno total disminuyó con la

profundidad. No hubo diferencias significativas entre sitios en la relación C/N a ninguna de las tres profundidades (Tabla 4).

El fósforo extraíble fue menor a 0-15 cm de profundidad bajo el bosque (3.64 mg/kg, probabilidad menor de 5 o/o) que en los otros sitios (4.90 a 7.10 mg/kg, con el menor valor en el pasto y el mayor en V. ferruginea, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas) (Tabla 4 y Fig. 5.) No existieron diferencias significativas en P extraíble entre sitios a 15-30 o 30-60 cm, aunque los valores tendieron a ser mayores en V. ferruginea y menores en pasto y en bosque. El P también disminuyó con la profundidad (Fig. 5).

En cuanto a los elementos menores, no hubo diferencias significativas entre sitios a ninguna profundidad para Cu, Zn o Mn. Sin embargo, a 0-15 cm se observó mayor cantidad de Cu bajo V. ferruginea, D. tucurensis y D. panamensis, que bajo pasto y bajo bosque, con valores intermedios en los otros sitios (Tabla 4). El Zn tendió a ser mayor bajo V. ferruginea, V. hondurensis y bosque, mientras que el Mn tendió a ser menor en I. rosea y en pastos que en los otros sitios. El Zn tendió a aumentar o mantener sus valores con la profundidad, mientras que el Cu y el Mn disminuyeron a mayor profundidad. El Fe fue significativamente mayor en el suelo bajo bosque, para las tres profundidades consideradas, que en los otros sitios (probabilidad menor de 1 o/o) y tendió a disminuir con la profundidad.

Los resultados de las mediciones realizadas en agosto se presentan en Tablas 5 y 6 y Figs. 6 y 7. No se observaron diferencias significativas en Ca, Mg o K, para ninguna de las tres profundidades consideradas (Tabla 5). Sin embargo, se observó una tendencia a mayor contenido de Ca en el horizonte superficial en V. ferruginea, I. rosea y bosque, mayor Mg bajo V. ferruginea, V. hondurensis, I. rosea y bosque, y mayor K bajo V. ferruginea, I. rosea y bosque.

No hubo diferencias significativas en el pH entre los sitios, excepto a 15-30 cm, donde el pH fue menor en el bosque (5.1) que en los otros sitios (5.2-5.3—(probabilidad menor del 10 o/o) A 0-15 cm el pH varía de 4.9 (bosque y pasto) a 5.2 (I. rosea) (Tabla 8) Se observó al igual que en abril, una tendencia a un aumento del pH a mayor profundidad. La acidez extraíble fue menor en I. rosea y D. panamensis que en los otros sitios, para las tres profundidades (probabilidad menor de 5 o/o).

La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), fue mayor en el bosque, para las tres profundidades, que en los demás sitios (probabilidad menor del 5 o/o). No hubo diferencias significativas en el porcentaje de saturación de bases entre los sitios para 0-15 y 15-30 cm; solamente a 30-60 cm la saturación de bases fue mayor en I. rosea que en los demás sitios (probabilidad menor de 15 o/o) De igual manera, no se observaron diferencias significativas en la saturación de acidez entre los sitios a 0-15 y 15-30, pero se encontraron diferencias significativas a 30-60 cm, con los menores valores bajo I. rosea y D. panamensis (probabili-

dad menor del 15 o/o) (Tabla 5). La saturación de acidez aumentó con la profundidad.

La materia orgánica fue significativamente mayor en el bosque (probabilidad menor de 5 o/o) y en *V. ferruginea* (probabilidad menor de 15 o/o) a 0-15 y a 15-30 cm (Tabla 6 y Fig. 6) Los menores valores correspondieron al pasto. A 30-60 cm, la materia orgánica fue mayor bajo bosque que bajo las especies del ensayo y que bajo el pasto, en ese orden (Tabla 6 y Fig. 6). El nitrógeno siguió una tendencia similar al de la materia orgánica, con mayores valores en *V. ferruginea* y bosque (Tabla 6 y Fig. 7) No hubo diferencias significativas en la relación C/N entre los sitios (Tabla 6) No se observaron diferencias significativas en el contenido de P, aunque se observó una tendencia a mayor P bajo *V. ferruginea* y menor contenido bajo bosque.

El Cu fue mayor bajo bosque a 0-15 cm (probabilidad menor del 10 o/o) El Zn fue mayor bajo bosque a las tres profundidades. No hubo diferencias significativas en el contenido de Mn, excepto a 30-60 cm, donde el contenido fue menor en el pasto. Existió una tendencia a mayor contenido de hierro bajo bosque, que era significativa a 15-30 y 30-60 (Tabla 6).

Comparando los valores de abril con los de agosto, se manifestó una menor concentración de Ca, Mg y K (menor suma de bases) en agosto, una mayor acidez extraíble (Fig. 8), menor pH, y mayor saturación de acidez. En algunos casos también se notaron menores valores de materia orgánica y nitrógeno total, aunque no ocurrió esto en las parcelas que tenían mayores contenidos, como en *V. ferruginea* y bosque. El P, Mn y Fe fueron menores en agosto, mientras que el Zn fue mayor en agosto que en abril, y el Cu fue mayor o menor según los sitios.

## Discusión

Características químicas de los suelos en el área experimental.

Al comparar los datos de las características químicas de los suelos de la consociación La Guaría (Sancho y Mata 1987, Tabla 1) con los resultados de la presente investigación, se observa que en el horizonte superficial del bosque se encontró un contenido similar de Ca y Mg (extracciones en acetato de amonio en ambos casos), mayor contenido de materia orgánica, menor contenido de K y de P, un mayor pH, y contenidos similares de elementos menores. Los niveles generales son lo suficientemente parecidos como para considerar que los suelos en el ensayo podrían ser parte de la consociación mencionada, con diferencias debidas a la vegetación que se encontrara en el sitio muestreado por Sancho y Mata (1987).

En concordancia con lo expresado por Sancho y Mata (1987) en referencia a los suelos de la consociación La Guaría, en general se puede observar que el contenido de Ca y Mg en la plantación experimental, en el pasto y en el bosque fue relativamente bajo, tanto en abril como en agosto, con valores menores de los considera-

dos críticos para los cultivos agrícolas, según niveles utilizados por el Ministerio de Agricultura de Costa Rica (Tabla 7, Berstch 1986). Estos niveles críticos fueron determinados para los mismos extractantes utilizados en el presente estudio, y son utilizados para la mayoría de los cultivos en el país.

El contenido de potasio en el horizonte superficial de este ensayo fue menor o mayor que el nivel crítico, según el sitio considerado, en el muestreo de abril; mientras que los datos de agosto muestran en todos los casos valores menores que los críticos. El menor contenido de bases en agosto en todos los sitios (Fig. 8) se atribuye al mayor lavado durante la época de mayores precipitaciones: el total de lluvia para el mes de agosto de 1988 fue de 457 mm, mientras que en abril fue 43.8 mm (datos de la estación meteorológica de La Selva) Los contenidos de Cu, Mn y Fe fueron superiores al nivel crítico, y existió una aparente deficiencia de Zn; esto para todos los sitios en ambos muestreos. Los valores de pH fueron bajos en los dos muestreos, pero mostraron una tendencia a bajar en el muestreo de agosto, con un aumento en la acidez extraíble en todos los sitios en conjunto (Fig. 8), coincidiendo esto también con la época más lluviosa en la cual existe un mayor lavado de bases.

Los valores de materia orgánica y N en general parecen relativamente altos en este ensayo. Esto podría deberse a la presencia anterior de un bosque maduro en el sitio, y a la dominancia de especies fijadoras de N como *Pentacethra macroloba*, en el bosque de bajura de la región, que ocupaba el sitio antes de su corta en los años 1950. Excepto por estos dos últimos parámetros, los suelos del área muestreada eran muy poco fértiles. Como la materia orgánica es responsable en gran parte de la capacidad de retención de nutrientes del suelo, las prácticas de manejo que tienden a disminuir el tenor de materia orgánica, tales como quemas repetidas, sobrepastoreo, falta de cobertura vegetal, tenderán a disminuir aún más su fertilidad, hasta hacer muy difícil su recuperación para niveles productivos. La disminución de la materia orgánica con la profundidad que se observó en todos los sitios del ensayo puede ser la causa del aumento relativo del pH en el subsuelo; puesto que la materia orgánica es una fuente de acidez. El aumento de pH con la profundidad no podría atribuirse a un aumento en el contenido de bases, pues todas estas disminuyeron en el subsuelo.

Influencias de la plantación experimental, pasto y bosque sobre la fertilidad.

Siendo el contenido de materia orgánica un factor clave en la recuperación y mantenimiento de la fertilidad, se puede considerar que en menos de tres años la presencia de la plantación experimental en conjunto había aumentado la fertilidad del sitio, pues si se compara el promedio de materia orgánica en el horizonte superior del suelo en el pasto en abril (4.83 o/o) con los valores en la plantación, que variaron entre 5.31 y 6.6 o/o se nota un incremento sustancial en esta

parámetro, con un valor cercano al del bosque (7.58 c/o). Se observó una tendencia similar en el subsuelo en ambos muestreos; asimismo, en agosto los resultados fueron similares (Fig. 6). El nitrógeno total reveló una situación parecida, con valores de 0.260-0.318 c/o en la plantación, mayores que en el pasto (0.224) y cercanos a los del bosque (0.328) (datos de abril; con resultados similares en agosto; Fig. 7). Un incremento entre 0.5 y casi 2.0 unidades porcentuales en lo que respecta a materia orgánica en el suelo superficial es sustantivo, por su contribución a la retención de nutrientes. El coeficiente de correlación entre el contenido de materia orgánica y la suma de bases, considerando los datos de las tres profundidades muestreadas, fue de 0.40 en abril y de 0.60 en agosto, mostrando la estrecha relación entre ambos parámetros importantes para la fertilidad.

Asimismo, tomados en conjunto, los valores de Ca y Mg en el suelo de la plantación fueron mayores que en el pasto, con los valores cercanos a los que se encontraron en el bosque (Fig. 3); la saturación de bases fue similar o mayor en la plantación que en el bosque, y también mayor que en el pasto (Fig. 4), mientras que se dió la situación inversa con referencia a la saturación de acidez. Con el potasio la situación fue diferente, con valores bajos en general y sin una clara tendencia con respecto a diferencias entre sitios. Una tendencia también diferente se encontró para el P extraíble, cuyos valores fueron en general bastante bajos (menores que el nivel crítico) y aún más en el bosque (Fig. 5). La tendencia con respecto a los elementos menores fue similar a la encontrada con los cationes básicos, con valores en la plantación mayores que en el pasto y menores que en el bosque. Sin embargo serían necesarias mediciones a más largo plazo para confirmar estas tendencias, y para dilucidar los mecanismos involucrados. Además, debe recalcar que el área de pastos en este ensayo no representa un pasto abandonado típico de la región, pues como se aclaró antes, esta área ha sido mantenida bajo pasto con el fin de tener un sitio de comparación, con todos los tratamientos que se le daban a ésta, incluídos los desmalezados. El área de pastos representa entonces una porción de terreno sobre los mismos suelos, donde se dan condiciones idénticas excepto la presencia de especies arbóreas, y debe tomarse como tal en la interpretación de estos resultados. Asimismo el bosque represente un terreno sobre los mismos suelos, con árboles que han estado en el sitio por un período más prolongado, de aproximadamente 20 años, y podría considerarse representativo de otros bosques secundarios de la región.

Comparando las seis especies dentro de la plantación, en las extracciones con acetato de amonio se notaron tendencias más claras que en las realizadas con KC1; si bien el KC1 sería más apropiado por realizarse la extracción en condiciones de pH más parecidas a las de campo, por otro lado con valores tan bajos se oscurecen algunas diferencias potenciales, por lo cual es posible que otro tipo de solución extractora sea una alternativa más adecuada.

Aún en las extracciones con KC1, en el horizonte

superficial se revelaron tendencias a una mayor concentración de Ca y Mg, con una mayor suma de bases bajo V. ferruginea (Fig. 3). La acumulación se debe posiblemente a la movilización de cationes de capas profundas al árbol y su deposición en la capa superficial a partir de la hojarasca. También bajo esta especie se observó mayor contenido de materia orgánica y nitrógeno total (Figs. 6 y 7), lo cual sugiere la importancia de la materia orgánica en la retención de nutrientes en estos suelos. Se observa una gran acumulación de hojarasca de hojas y ramas bajo esta especie, mucho mayor que en las otras especies del ensayo. Como V. ferruginea es una de las especies de mejor crecimiento del ensayo, su influencia positiva sobre la fertilidad del suelo aumenta su importancia como especie para la reforestación y para la recuperación de áreas degradadas. En la segunda fase del presente proyecto, se está muestreando la caída de hojarasca y su contenido de nutrientes bajo las seis especies de árboles. También se muestrea el piso de hojarasca, para examinar la distribución de sus diferentes partes (material reciente, material en estado de descomposición) y su contenido de nutrientes. Asimismo, se han muestreado las raíces en los mismos espesores de suelo que han sido considerados para los análisis químicos. Estas investigaciones contribuirán a explicar los mecanismos involucrados en estas diferencias y tendencias.

Otras diferencias entre especies incluyen el mayor pH y la menor acidez intercambiable bajo T. rosea y D. panamensis y la tendencia inversa (menor pH y mayor acidez) bajo V. hondurensis (Figs. 1 y 2). Entre las especies en estudio, tanto D. panamensis como T. rosea son las de menor crecimiento hasta la fecha, en contraste con V. hondurensis, que es una de las de mayor crecimiento. Posiblemente debido al menor crecimiento de las dos primeras, existe una menor absorción de bases, en comparación con V. hondurensis, que por su rápido crecimiento tendría una mayor demanda. No sería muy probable que estas diferencias se debieran al reciclaje de bases en T. rosea y D. panamensis, pues en estas parcelas el dosel no había cerrado completamente en el momento de los muestreos, y es poco probable que los mecanismos de reciclaje se hubieran establecido. Al igual que en el caso anterior, las mediciones que se están realizando en la segunda fase del proyecto contribuirán a explicar estos mecanismos. Posiblemente estas pequeñas diferencias en el pH y acidez entre especies, al igual que otros parámetros, cambien a más largo plazo.

#### Agradecimientos.

El presente proyecto ha sido financiado por la Fundación Internacional para la Ciencia (IFS, Suecia) (Proyecto IFS D-1264/1). Se agradecen los comentarios del Dr. E. Bornemisza, del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Asimismo, se agradece la colaboración de H. y V. Alvarado (OET,

La Selva), del personal del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica, y el apoyo prestado por la Organización para Estudios

Tropicales (OET) tanto en la Estación Biológica La Selva como en sus sedes administrativas en EE.UU y en Costa Rica.

---

## Referencias

- Allison, L. E. 1975. Organic carbon. Pp. 1367-1378 In Black, C.A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin.
- Alpizar, L. , H. W. Fassbender, J. Heuvelodp, H. Folster and G. Enríquez. 1986. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poró (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. I. Inventory of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 4:175-189.
- de Barros, N.F. y R. M. Brandi. 1975. Influencia de tres especies forestais sobre a fertilidade de solo de pastagem en Vicosá, M. G. *Brasil Florestal* 6:24. Rio de Janeiro.
- Bawa, K. S. , S. H. Bullock, D. R. Perry , R. E. Coville and M. H. Grayum. 1985. Reproductive biology of tropical lowland rainforest trees. II Pollination systems. *American J. Bot.* 72: 346-356.
- Berner, P. O., and B. Finegan. 1988. Natural management of montane tropical forest and anthropogenically disturbed lowland tropical forest: from ecological research towards a silvicultural system. 25 Aniversario de la Organización para Estudios Tropicales. Exhibición de afiches sobre estudios tropicales en Costa Rica. Museo Nacional - Junio 5-12, 1988.
- Bethel, J. S. 1976. Forest in Central America and Panamá: wich kind, how large and where? *Revista Biología Tropical* 24 (Supl): 143-175.
- Bertsch, F. H. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Escuela de Fitotécnia. 76 pp.
- Boffoni, D., M. L. Jimenez, J. F. Moreira and E. Fonseca. Biomasa e nutrientes de duas especies forestais em Vicosá. Universidad Federal de Vicosá. Brazil. Manuscrito sin publicar.
- Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total . Pp 595-624 - In A. L. page, R. H. Miller and R. R. Keeney (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2.* 2nd. ed. American Society of Agronomy. Madison Wisconsin.
- Budowski, G. 1961. Studies in forest succession in Costa Rica and Panamá. Ph. D. dissertation . Yale University, New Haven
- Cadima Zeballos, A. , and P. de T. Alvin .1967. Influencia del árbol de sombra *Erythrina glauca* sobre algunos factores edafológicos relacionados con la producción del cacaoero. *Turrialba* 17: 330-336.
- Carlson, P. J. and J. O. Dawson. 1985. Soil nitrogen changes, early growth, and response to soil internal drainage of a plantation of *Alnus jorullensis* in the Colombian highlands. *Turrialba* 35(2): 141-150.
- Chazdon. R. L. and N. Fetcher. 1984. Photosynthetic light environments in lowland tropical rainforest in Costa Rica. *J. Ecology* 72: 553-564.
- Chijike, E. O. 1980. Impacts on soils of fast-growing species in lowlands humid tropics. *FAO.For.Pap..* No. 21.
- Cozzo, D 1976. Tecnología de la forestación en Argentina y América Latina. Ed. Hemisferic Sur. Buenos Aires. 610 pp.
- Denslow, J. S. 1980. Gap partitioning among tropical rain forest trees. *Biotropica (supl.)* : 45-55.



- Díaz-Romero, R. y A. Hunter. 1978. Método para el muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernaderos. Turrialba, Costa Rica, CATIE, pp. 9-11 and 15-27
- Espinoza Camecho, M. y R. Butterfield. 1989. Aceptabilidad de 13 especies nativas maderables bajo condiciones de plantación en las tierras bajas húmedas del Atlántico, Costa Rica. Reunión de IUFRO, IV Grupo, S1-07-09, Silvicultura de Plantaciones en América Latina. Guatemala, 3-7 de abril 1989
- Fassbender, H. W. 1984. Bases edafológicas de los sistemas de producción agroforestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba. Costa Rica. Serie Materiales de Enseñanza No. 21 191 pp.
- Fernández, R. A. 1987. Influencia del sistema de desmonte-reforestación con *Pinus* spp. sobre algunas características químicas de los suelos. *Ciencia del Suelo* 5(2) : 123-129.
- Fetcher, N., B. R. Strain and S. F. Oberbauer. 1983. Effects of light regime on the growth, leaf morphology and water relations of seedlings of two species of tropical trees. *Oecología* 58: 314-319.
- Goodland, R. 1971. Oligotrofismo e aluminio no cerrado. In: Ferré, M. G. (ed.) III Simposio sobre o Cerrado. Univ. Sao Paulo, a Blucka, Sao Paulo, 239 pp.
- Halliday, J. 1984. Register of nodulation reports for leguminous trees and other arboreal genera with nitrogen fixing members. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 2: 38-45.
- Hartshorn, G. S. 1972. The ecological life history and population dynamics of *Pentaclethra macroloba*, a tropical wet forest dominant and *Stryphnodendron exaltatum*, an occasional associate. Ph. D. dissertation. University of Washington. Seattle.
- Hartshorn, G. S. 1978. Tree falls and tropical dynamics. Pp. 617-638. In: P. B. Tomlinson and M. H. Zimmermann (eds). *Tropical trees as living systems*. Cambridge University Press. Cambridge
- Hartshorn, G. 1983. Plants Pp. 118-157 In: D. H. Janzen (ed.) *Costa Rican Natural History*. The University of Chicago Press. Chicago and London.
- Holdridge, L. R., W. C. Grenke, W. H. Hatheway, T. Liand and J. A. Tosi. 1971. *Forest environments in tropical life zones: a pilot study*. Pergamon Press, New York.
- Holdridge, L. R., y L. J. Poveda. 1975. *Arboles de Costa Rica*. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica. 546 pp.
- Huston, M. A. 1980. Soil nutrients and tree species richness in Costa Rican forests. *J. Biogeography* 7: 147-157.
- Huston, M. A. 1982. The effect of soil nutrients and light on the growth and interactions during tropical forest succession: experiments in Costa Rica. Ph. D. dissertation. University of Michigan. Ann Arbor.
- Koval, J. M. L. and P. B. H. Tinker. 1989. Soil changes under a plantation established from high secondary forest. *J. W. Afr. Inst. Oil Palm Res.* 2:376-389.
- Lieberman, M., D. Lieberman, G. S. Hartshorn and R. Peralta. 1985. Small-scale altitudinal variation in lowland tropical forest vegetation. *J. Ecology* 73: 505-516.
- Lundgren, B. 1978. Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forest in Tanzanian highlands (Reports in forest ecology and forest soils No 31). Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Montagnini, F. 1988. Agroforestry in the humid tropics: the role of applied ecology. In the application of ecology to enhancing economic development in the humid tropics. Proceedings of a workshop. Columbus, Ohio, August 1987. Sponsored by the World Bank. In press.

- Nair, P. K. R. 1984. Soil productivity aspects of agroforestry International Council for Research in Agroforestry. Nairobi. 85 pp.
- Ojeniyi, S. O. and O. O. Agbede. 1980. Effect of interplanting Gmelina arborea with food-crops on soil condition. Turrialba 30 (3): 268-271.
- Ollagnier, M. A. Laurezeral, J. Olivin and R. Ochs. 1978. Evolution des sols sous palmeraie apres defrichement de la foret. Olaogineux 3: 527-547.
- Organización para Estudios Tropicales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (OTS/CATIE) 1986. Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos OTS. San José. Costa Rica. 818 pp.
- Roskowski, J. P. 1982. Nitrogen fixation in a Mexican coffee plantation. Plant & Soil 67: 283-291.
- de las Salas, G. y H. Fassbender. 1984. Factores edáficos en los sistemas de producción agroforestales. Pp. 30-36 In J. Heuveldop y J. Lagemann (eds.). Agroforestería. Actas del seminario realizado en el CATIE. 23 de febrero - 3 de marzo 1981 - Serie Técnica. Boletín Técnico No. 14. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Departamento de Recursos Naturales Renovables. Turrialba. Costa Rica.
- Sánchez. P. A. , C. A. Palm, C. B. Dabey, L. T. Szott and C. E. Russel. 1985. Tree crops as soil improvers in the humid tropics? Pp. 327-350 - In M. G. R. Cannel and J. E. Jackson (eds). Attributes of trees as crop plants. Institute of Terrestrial Ecology. Natural Environmental Research Council. Abbots Ripton, Huntingdon, England.
- Sancho, F., and R. Mata. 1987. Estudio detallado de suelos. Estación Biológica La Selva. Organización para Estudios Tropicales. Ser. José Costa Rica. 162 pp.
- Santana, M. B. M. and P. Cabela Rosand. 1982 - Dynamics of nitrogen in a shaded cacao plantation. Plant & Soil 67: 271-281.
- Silva, L. F. 1983. Influencia de cultivos e sistemas de manejo nas modificacoes edáficas dos oxissols de tabuleiro (Harplorthox) do sul de Bahia. Belem (Brazil): CEPLAC, Departamento Especial de Amazonia.
-

Tabla 1. Composición química de un perfil típico de la Consociación La Guaria (tomado de Sancho y Mata 1987).

HORIZONTE	A	AB	Bw1	Bw2	IIA
Profundidad (cm)	0-15	15-38	38-79	79-106	106+
pH					
H <sub>2</sub> O	4.6	5.0	5.0	4.9	5.0
KCl	4.2	4.7	4.4	4.7	4.8
NaF	9.4	9.7	9.8	9.6	9.7
MAT.URG. (%)	2.80	2.14	T	T	0.34
Caol/l					
Ca	0.80	0.73	0.73	0.75	0.75
Mg	0.46	0.33	0.29	0.25	0.25
K	0.77	0.66	0.87	0.41	0.41
Acidez	1.4	0.9	0.8	0.5	0.5
CIC	13.5	15.9	14.0	14.4	13.8
SAT. BASES (%)	15.0	10.8	13.5	9.8	10.2
SAT.ACIDEZ (%)	10.3	5.6	5.7	3.5	3.6
mg/kg					
P	12.6	3.2	13.1	12.2	10.7
Cu	20.0	9.5	7.4	10.5	9.2
Zn	1.7	0.6	1.9	1.7	3.9
Mn	68.0	28.9	27.5	29.0	43.0
Fe	663	98	186	166	163
ARENA (%)	51	53	52	50	60
LIMO (%)	8	11	2	11	17
ARCILLA (%)	41	36	46	39	23
NOMBRE TEXTURAL	Aa	Aa	Aa	Aa	FAa

Tabla 2. Contenido de Ca, Mg y K, pH, acidez, suma de bases, capacidad de intercambio catiónico efectivo, saturación de acidez y de bases, en suelos bajo las seis especies del ensayo, pasto y bosque; abril 1988 (Ca y Mg extraídos con KCl, K extraído con acetato de NH<sub>4</sub>)<sup>1</sup>.

SITIO PROFUNDIDAD					Suma de			Σ SATURACION		
	(cm)	Ca	Mg	K	pH	Acidez	bases	CICE	BASES	ACIDEZ
		(cmol/kg)			(cmol/kg)					
Str.	0-15	0.45a	0.63ab	0.27a	5.4ab	1.66ab	1.34a	3.00a	45.5a	54.5bc
	exc. 15-30	0.33a	0.35a	0.19a	5.4a	1.54a	0.87a	2.41a	37.2a	62.7b
	30-60	0.26a	0.22a	0.17a	5.6a	1.08a	0.65a	2.53a	34.2a	65.7a
Bal.	0-15	0.44a	0.41ab	0.22a	5.4ab	1.46ab	1.07a	2.53a	41.6a	58.4bc
	tuc. 15-30	0.32a	0.24a	0.15a	5.4a	1.54a	0.71a	2.25a	31.6a	68.4bc
	30-60	0.24a	0.15a	0.11a	5.6a	1.42a	0.49a	1.91a	26.8a	73.2a
Voch.	0-15	0.73a	0.61ab	0.22a	5.4ab	1.20ab	1.56a	2.76a	52.8a	47.2bc
	ferr. 15-30	0.66a	0.39a	0.21a	5.6a	1.12a	1.26a	2.38a	47.3a	52.7bc
	30-60	0.42a	0.28a	0.17a	5.6a	1.06a	0.86a	1.92a	42.5a	57.5a
Voch.	0-15	0.25a	0.37ab	0.11a	5.3b	1.86a	0.73a	2.59a	28.2bc	71.8a
	hond. 15-30	0.19a	0.18a	0.09a	5.4a	1.58a	0.46a	2.04a	22.5bc	77.5a
	30-60	0.17a	0.32a	0.08a	5.5a	1.32a	0.57a	1.89a	27.5a	72.5a
Tab.	0-15	0.42a	0.50ab	0.15a	5.5a	1.28b	1.06a	2.35a	44.1a	55.9b
	rosea 15-30	0.28a	0.26a	0.12a	5.6a	1.12a	0.66a	1.78a	35.5a	64.5b
	30-60	0.28a	0.24a	0.13a	5.7a	0.98a	0.65a	1.63a	38.8a	61.2a
Dip.	0-15	0.52a	0.74ab	0.38a	5.5a	1.18b	1.64a	2.82a	53.4a	46.5bc
	pan. 15-30	0.36a	0.45a	0.29a	5.5a	1.06a	1.09a	2.19a	46.2a	53.8bc
	30-60	0.28a	0.28a	0.19a	5.6a	1.08a	0.75a	1.83a	38.9a	60.1a
PASTO	0-15	0.32a	0.27b	0.19a	5.3b	1.40ab	0.77a	2.17a	34.8ab	65.2ab
	15-30	0.31a	0.28a	0.17a	5.4a	1.32a	0.76a	2.08a	35.7ab	64.2ab
	30-60	0.23a	0.15a	0.10a	5.5a	1.26a	0.48a	1.74a	27.1a	72.9a
BOSQ.	0-15	0.68a	0.55b	0.17a	5.3b	1.54ab	1.39a	2.93a	46.9a	53.1bc
	SECUN. 15-30	0.60a	0.42a	0.13a	5.4a	1.60a	1.15a	2.75a	42.2a	57.7bc
	30-60	0.42a	0.28a	0.18a	5.5a	1.34a	0.87a	2.21a	39.5a	60.5a

<sup>1</sup>En ésta y en las tablas siguientes, los valores de cada parámetro, para una misma profundidad y para los diferentes sitios, presentan diferencias estadísticamente significativas cuando están seguidos de letras diferentes.

Tabla 3. Ca, Mg y capacidad de intercambio catiónico (CIC) determinados por extracción en acetato de amonio, en abril de 1988.

SITIO	PROFUNDIDAD (cm)	Ca Mg CIC		
		(cmol / kg)		
Stryphnodendron excelsum	0-15	0.67a	0.80a	21.5a
	15-30	0.67a	0.51b	19.9a
	30-60	0.54a	0.28b	18.2a
Dalbergia tucurensis	0-15	0.68a	0.48ab	21.4a
	15-30	0.68a	0.39b	19.3a
	30-60	0.63a	0.26a	18.2a
Vochysia ferruginea	0-15	1.02a	0.69a	22.3a
	15-30	0.98a	0.47b	19.5a
	30-60	0.74a	0.39b	18.5a
Vochysia hondurensis	0-15	0.65a	0.56a	22.1a
	15-30	0.54a	0.32b	19.1a
	30-60	0.57a	0.26b	18.2a
Tabebuia rosea	0-15	0.69a	0.58a	25.9a
	15-30	0.57a	0.37b	19.0a
	30-60	0.52a	0.40b	17.9a
Dipteryx panamensis	0-15	0.93a	0.84a	21.5a
	15-30	0.76a	0.59b	19.8a
	30-60	0.66a	0.41b	18.7a
PASTOS	0-15	0.47a	0.32b	20.6a
	15-30	0.50a	0.30b	18.7a
	30-60	0.54a	0.22b	24.6a
BOSQUE SECUNDARIO	0-15	0.96a	0.72a	23.3a
	15-30	0.89a	0.58a	21.5a
	30-60	0.62a	0.36a	19.0a

Tabla 4. Materia orgánica, N total, C/N, P y elementos menores en los suelos muestreados en abril 1988.

SITIO	PROFUNDIDAD	H.C.	N	C/N	P	Cu	Zn	Mn	Fe
	(cm)	(%)	(%)			(mg/kg)			
Str. exc.	0-15	6.04ab	0.208b	12.2a	5.58a	18.6a	1.90a	85.8a	344b
	15-30	4.52b	0.234b	11.2a	5.70a	16.6a	1.64a	97.2a	258b
	30-60	2.54a	0.142a	10.4a	5.54a	9.2a	2.88a	67.8a	126b
Bal. tuc.	0-15	5.47ab	0.292ab	10.9a	5.48a	20.8a	1.92a	104a	315b
	15-30	4.06b	0.214b	11.1a	4.68a	38.8a	1.50a	88.4a	218b
	30-60	2.70a	0.132a	11.9a	4.24a	15.4a	1.72a	77.6a	182b
Voch. ferr.	0-15	6.60ab	0.318b	12.1a	7.18a	22.2a	2.76a	105a	331b
	15-30	4.60b	0.218b	11.9a	5.30a	20.4a	3.14a	96.4a	219b
	30-60	3.34a	0.156a	12.6a	4.66a	20.6a	2.42a	91.0a	152b
Voch. hond.	0-15	5.46ab	0.208ab	11.0a	5.16a	18.2a	2.36a	115a	325b
	15-30	3.87b	0.204b	11.0a	4.68a	17.6 a	1.90a	93.2a	218b
	30-60	2.70a	0.142a	11.0a	4.46a	13.2a	1.78a	79.4a	177b
Tab. rosea	0-15	5.63ab	0.208ab	11.4a	5.10a	19.8a	1.68a	89.0a	277b
	15-30	3.92b	0.194b	11.6a	4.64a	18.2a	1.44a	81.2a	165b
	30-60	3.00a	0.164a	10.7a	4.66a	18.0a	1.36a	78.2a	138b
Dip. pan.	0-15	5.31ab	0.260ab	11.8a	5.34a	20.8a	1.80a	114a	335b
	15-30	4.42b	0.208b	12.4a	5.14a	18.8a	1.68a	96.0a	298b
	30-60	2.96a	0.146a	11.6a	5.58a	20.8a	2.18a	89.4a	158b
PASTOS	0-15	4.83bc	0.224b	12.8a	4.90a	15.8a	1.40a	96.8a	297b
	15-30	4.83b	0.176b	14.0a	4.44a	14.2a	1.46a	110a	226b
	30-60	2.73a	0.138b	11.8a	4.24a	15.8a	2.04a	82.4a	138b
BOSQ. SECUM.	0-15	7.58a	0.328a	13.6a	3.64b	16.2a	2.26a	113a	664a
	15-30	6.40a	0.278a	13.4a	3.34b	15.2a	2.24a	101a	461a
	30-60	3.29a	0.178a	11.2a	3.68a	11.2a	2.32a	91.8a	398a

Tabla 5. Contenido de Ca, Mg y K, pH, acidez, suma de bases, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), y saturación de bases y acidez, en suelos muestreados en agosto 1988.

SITIO	PROFUNDIDAD (cm)					Suma de			SATURACION (%)	
		Ca	Mg	K	pH	Acidez	bases	CICE	BASES	ACIDEZ
		(cmol/kg)				(cmol/kg)				
Str. exc.	0-15	0.28a	0.38a	0.11a	5.0a	1.70a	0.77a	2.40b	30.5a	69.5a
	15-30	0.26a	0.22a	0.10a	5.2a	1.64a	0.51a	2.16b	23.5a	76.5a
	30-60	0.26a	0.11a	0.07a	5.4a	1.46a	0.37a	1.84b	20.5b	79.5a
Bal. toc.	0-15	0.27a	0.29a	0.14a	5.0a	1.70a	0.71a	2.40b	29.1a	70.9a
	15-30	0.21a	0.19a	0.13a	5.1a	1.58a	0.52a	2.08b	25.1a	74.9a
	30-60	0.17a	0.11a	0.09a	5.3a	1.52a	0.37a	1.90b	19.6ab	80.4a
Voch. ferr.	0-15	0.55a	0.43a	0.16a	5.0a	1.72a	1.13a	2.86b	35.2a	64.8a
	15-30	0.22a	0.17a	0.11a	5.3a	1.52a	0.90a	2.02b	24.6a	75.4a
	30-60	0.19a	0.11a	0.10a	5.4a	1.38a	0.40a	1.80b	22.2b	77.8a
Voch. hond.	0-15	0.27a	0.43a	0.12a	5.1a	1.70a	0.82a	2.52b	31.5a	68.5a
	15-30	0.14a	0.13a	0.08a	5.2a	1.70a	0.34a	2.06b	17.4a	82.6a
	30-60	0.13a	0.10a	0.07a	5.3a	1.56a	0.30a	1.86b	16.1b	83.9a
Tab. reseca	0-15	0.39a	0.50a	0.18a	5.2a	1.46b	1.08a	2.54b	41.4a	58.6a
	15-30	0.22a	0.22a	0.12a	5.3a	1.46b	0.55a	2.02b	27.1a	72.9a
	30-60	0.18a	0.14a	0.09a	5.5a	1.24b	0.41a	1.66b	25.8a	74.2b
Dip. pan.	0-15	0.21a	0.25a	0.15a	5.1a	1.64b	0.61a	2.26b	27.6a	72.4a
	15-30	0.21a	0.22a	0.12a	5.2a	1.56b	0.56a	2.12b	25.2a	74.8a
	30-60	0.17a	0.15a	0.10a	5.4a	1.54b	0.41a	1.94b	21.5b	78.5b
PASTO	0-15	0.22a	0.28a	0.15a	4.9a	2.06a	0.65a	2.70b	23.5a	76.5a
	15-30	0.17a	0.15a	0.11a	5.2a	2.10a	0.42a	2.54b	16.2a	83.8a
	30-60	0.17a	0.14a	0.09a	5.3a	1.88a	0.40a	2.28b	17.4b	82.6b
BOSO. SECUN.	0-15	0.60a	0.51a	0.19a	4.9a	2.34a	1.30a	3.62a	31.0a	69.0a
	15-30	0.28a	0.25a	0.11a	5.1a	2.34a	0.64a	2.96a	20.9a	79.1a
	30-60	0.20a	0.14a	0.08a	5.2a	2.60a	0.42a	3.02a	13.6b	86.4a

Tabla 6. Materia orgánica, N total, C/N, P y elementos menores, muestras recolectadas en agosto 1988.

SITIO	PROFUNDIDAD (cm)	C/N		C/N	P	Elementos menores (mg/kg)			
		C	N			Cu	Zn	Mn	Pb
Str. esc.	0-15	5.38ab	0.286b	10.9a	4.10a	17.4b	2.22b	57.4a	235a
	15-30	3.86ab	0.222b	10.2a	4.16a	17.6a	1.74b	42.2a	199b
	30-60	2.29ab	0.130b	10.0a	3.98a	18.1a	1.52b	32.6a	132b
Bal. tuc.	0-15	5.44ab	0.266b	11.9a	4.96a	18.6b	2.44b	54.8a	241a
	15-30	3.72ab	0.210b	10.2a	3.76a	21.5a	1.92b	52.2a	230b
	30-60	2.14ab	0.128b	9.0a	3.14a	21.7a	2.14b	43.2a	169b
Voch. terr.	0-15	6.42a	0.326a	11.4a	5.18a	23.4b	3.24b	61.4a	336a
	15-30	4.08a	0.216a	10.9a	4.42a	22.6a	2.22b	55.2a	249b
	30-60	2.22ab	0.122b	10.6a	3.24a	20.7a	1.94b	63.2a	166b
Voch. hand.	0-15	5.34ab	0.28ab	11.0a	4.72a	22.9b	2.70b	78.0a	294a
	15-30	3.12ab	0.186ab	9.8a	4.02a	26.6a	2.30b	52.6a	229b
	30-60	1.74ab	0.112b	9.0a	5.44a	30.8a	2.74b	39.6a	166b
Tab. russa	0-15	5.34ab	0.280a	11.0a	4.74a	20.8b	2.68b	78.0a	272a
	15-30	3.26ab	0.176a	11.2a	3.36a	19.2a	1.74b	64.2a	180b
	30-60	1.88ab	0.112b	9.3a	2.26a	19.8a	2.70b	41.4a	161b
Bip. pan.	0-15	4.82ab	0.260b	10.7a	4.00a	22.6b	2.54b	55.4a	267a
	15-30	3.20ab	0.184b	10.1a	3.50a	21.4a	2.04b	53.6a	184b
	30-60	1.82ab	0.112b	9.3a	3.20a	24.2a	2.42b	42.0a	189b
PASTO	0-15	4.20b	0.238b	9.4b	4.56a	19.2b	2.56b	48.8a	275a
	15-30	2.90b	0.186b	8.9a	3.60a	23.8a	2.54b	35.0a	215b
	30-60	1.70b	0.128b	7.7b	2.84a	27.5a	3.34b	27.8b	86.8b
BOSE. SEC.	0-15	6.30a	0.380a	9.6b	4.04a	25.4a	4.32a	61.6a	389a
	15-30	4.52a	0.282a	9.4a	2.94a	26.4a	4.28a	57.8a	356a
	30-60	2.90a	0.164a	10.6b	3.54a	27.5a	5.10a	40.4a	228a



**Tabla 7. Niveles de parámetros del suelo utilizados para interpretar análisis de fertilidad, basados en procedimientos utilizados por el Ministerio de Agricultura de Costa Rica (Bertsch 1986).**

<u>Parámetro</u>	<u>Nivel</u>		
	<u>Bajo</u>	<u>Optimo</u>	<u>Alto</u>
pH	5.0	5.5-6.5	7.0
cmol/l:			
Al		0.3	1.5
Ca	4.0	4-20	20
Mg	1.0	1-10	10
K	0.2	0.2-1.5	1.5
mg/l:			
P	10	10-40	40
Mn	5.0	5-50	50
Zn	3.0	3-15	15
Cu	1.0	1-20	20
Fe	10	10-50	50

Fig 1.

**Efecto del tipo de cobertura sobre la reacción del suelo.**

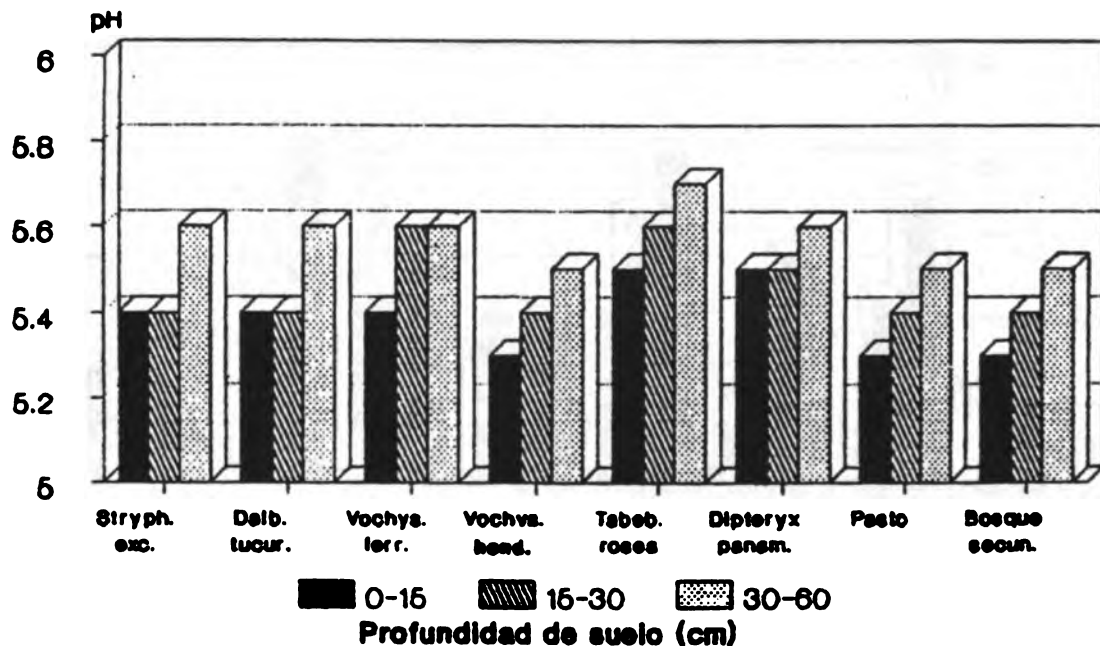


Fig 2.

**Efecto del tipo de cobertura sobre la acidez extraíble.**

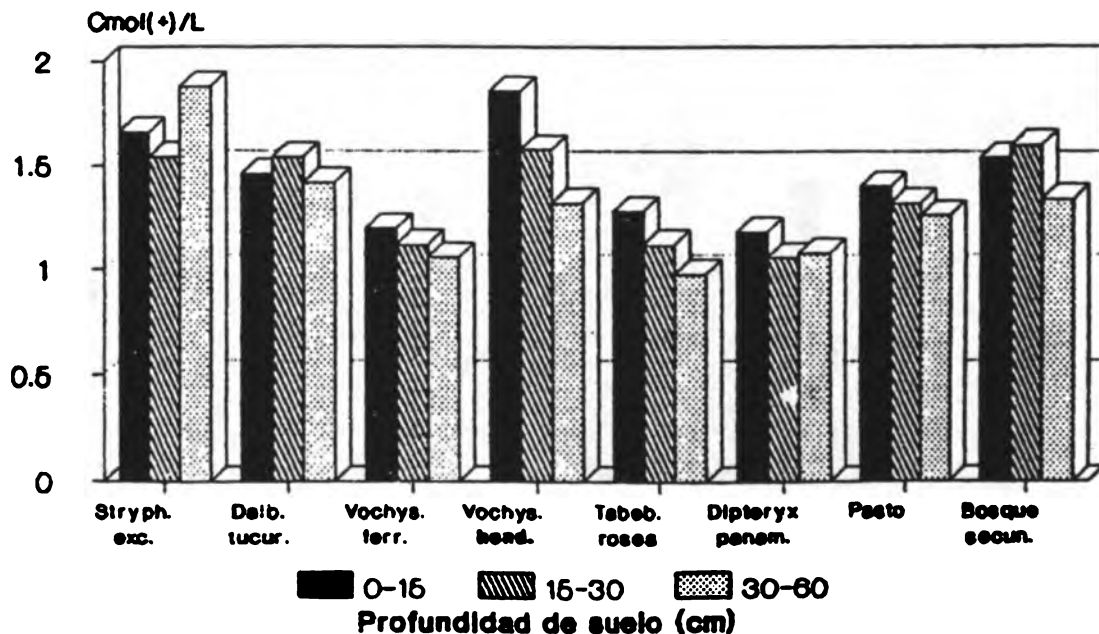


Fig 3.

**Efecto del tipo de cobertura sobre la suma de bases.**

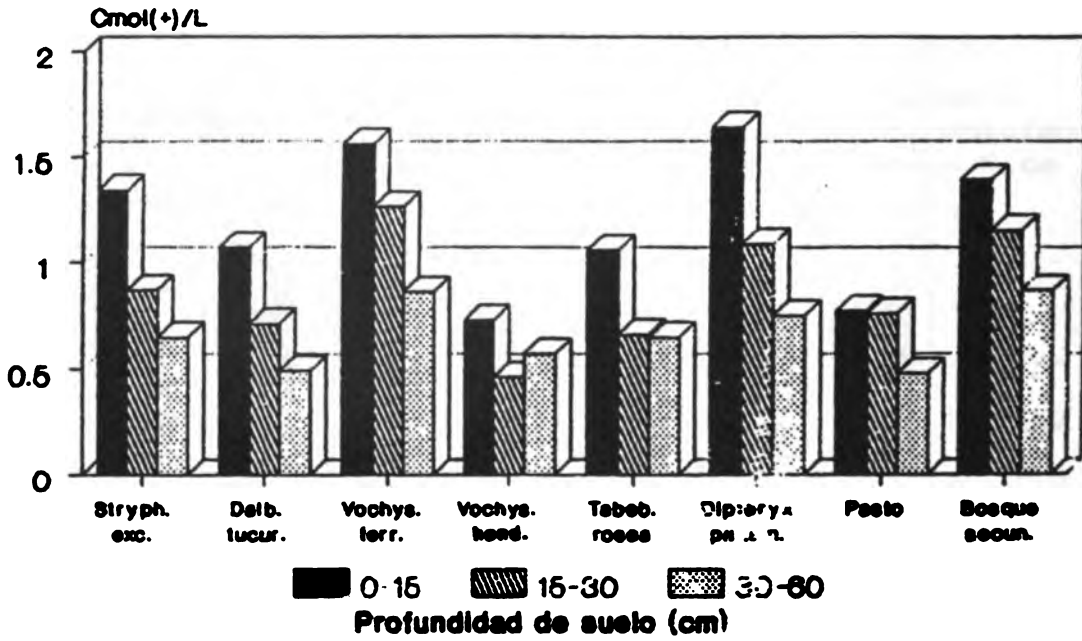
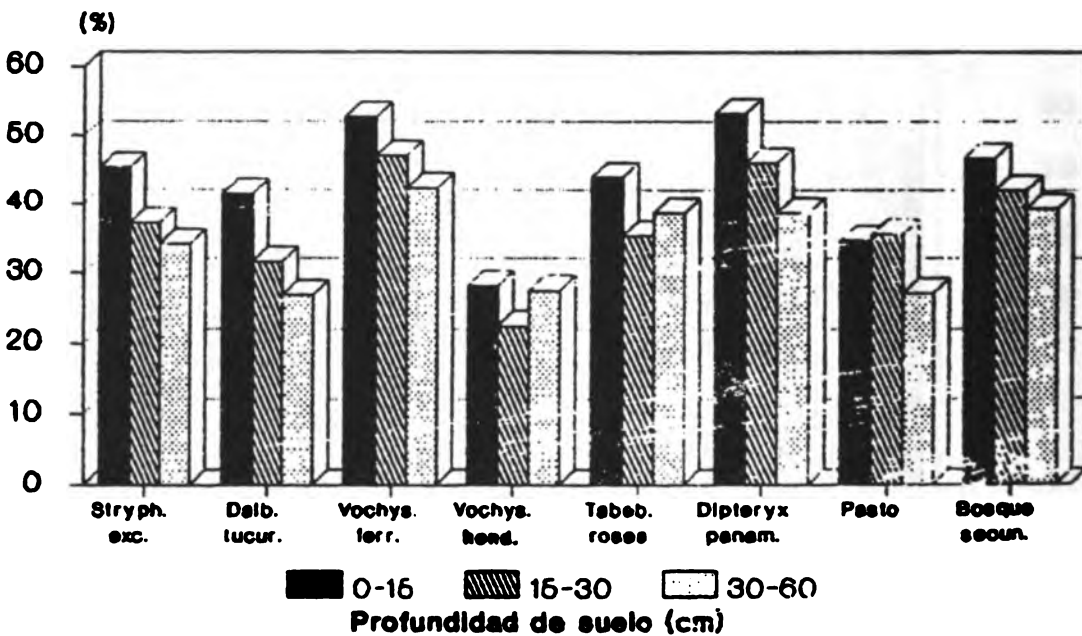


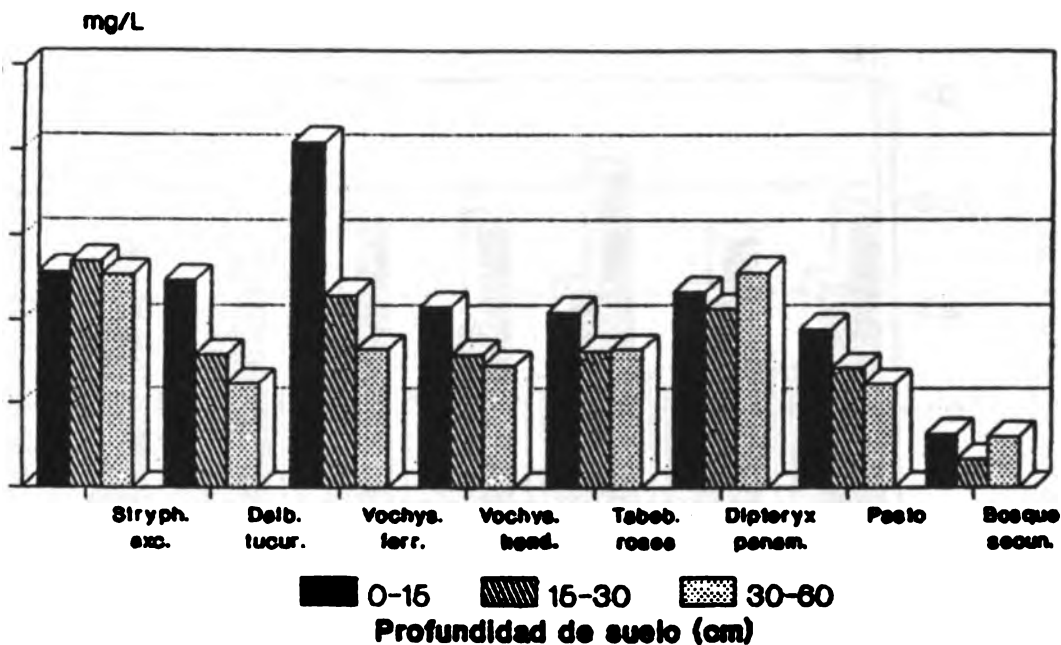
Fig 4.

**Efecto del tipo de cobertura sobre la saturación de bases.**



**Fig 5.**

**Efecto del tipo de cobertura sobre el contenido de fósforo en el suelo.**



**Fig 6.**

**Efecto del tipo de cobertura sobre el contenido de materia orgánica.**

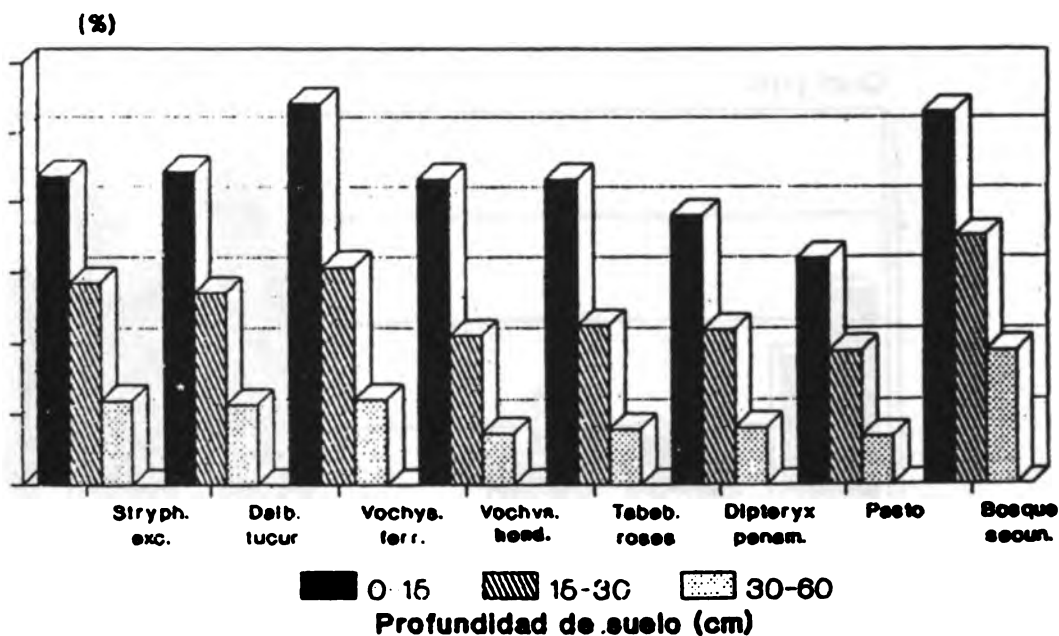


Fig 7.

**Efecto del tipo de cobertura sobre el contenido de nitrógeno.**

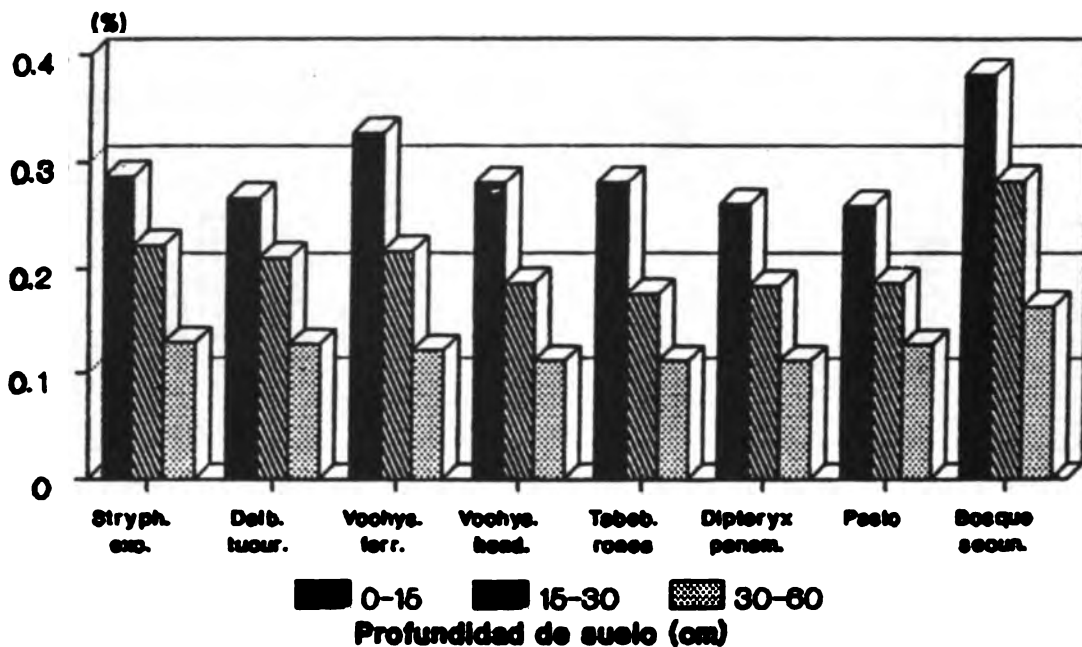


Fig 8.

**Variación en la suma de bases y acidez extraíble en dos muestreos.**

